



**Universidad
Zaragoza**

Trabajo Fin de Grado

**Análisis de la variabilidad de las tendencias de la temperatura
en España por rangos altitudinales (1951-2010)**

**Variability analysis of temperature trends in Spain by
altitudinal ranges (1951-2010)**

Autor

Asier Martínez Urra

Director

Dr. José Carlos González-Hidalgo

Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio

Facultad de Filosofía y Letras

2015/2016

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría expresar mi más sincero agradecimiento a mi tutor del trabajo de fin de grado, José Carlos González-Hidalgo, que me ha ayudado y ha colaborado con la orientación y la correspondiente supervisión en la realización de este trabajo. Por todas las facilidades dadas y la amabilidad mostrada hacia mi persona, muchas gracias.

El presente Trabajo de Fin de Grado forma parte del proyecto de investigación “Desarrollo de índices de sequía sectoriales: mejora de la monitorización y alerta temprana de las sequías en España, DESEMON-2”, financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (CGL 2014-52135-C3-3-R), desarrollado en el Departamento de Geografía de la Universidad de Zaragoza.

ABSTRACT

In the present study is analyzed the evolution and behavior that have seasonal average temperatures during the period 1951-2010 in mainland Spain depending on the altitude. For that they have been selected different altitudinal ranges (<400 m, 400-1000 m and > 1000 m), representative of the great landscapes of mainland coast, inland and mountain. The research was developed with a base monthly average temperature data of the Spanish mainland (MOnthlyTEmperatureDAtaSet) using the complete record of the average monthly minimum and maximum values stored in the State Meteorological Agency (AEMET). It has focused on analyzing whether there have been seasonal differences depending on altitude in minimum (Tmin) and maximum (Tmax) temperature trends. Trend analysis was performed by using mobile windows of different lengths (30 years, 25 years and 20 years); the significance of the trend has been analyzed by Mann-Kendal test and the rate by Sen slope estimator. The results suggest that the rate of warming in mainland Spain reached a maximum in the 1970s, followed by a decrease in intensity, both Tmax and Tmin so far in all altitudinal ranges. Moreover, the decrease in Tmax heating rate has been greater than in Tmin in recent decades. Therefore, the most recent annual warming seems to depend more on nighttime temperatures (Tmin) than day (Tmax). The study detects some differences between stations and, in recent decades, higher heating rates are in the spring and summer, with Tmax and Tmin behaving differently in each altitudinal range. Finally this study highlights how the heating rate depends largely on the length of the period analyzed.

KEY WORDS: Temperature, maximum, minimum, database, annually trend, seasonally trend, altitude, Spain.

Received: ____; Revised: ____; Accepted: ____

RESUMEN

En el presente estudio se analiza la evolución y el comportamiento que han tenido las temperaturas promedio estacionales durante el periodo 1951-2010 en la España peninsular en función de la altitud. Para ello han sido seleccionados diferentes rangos altitudinales (<400 m, 400-1000 m y >1000 m), representativos de los grandes paisajes peninsulares de costa, interior y montaña. La investigación se ha realizado empleando la base de datos de temperaturas medias mensuales de máximas y mínimas de la parte continental española denominada MOTEDAS (MOntly TEmpperature DAtaSet) y se ha enfocado a analizar si han existido diferencias estacionales en función de la altitud en las tendencias de las temperaturas máximas (Tmax) y mínimas (Tmin). El análisis de tendencias se ha realizado empleando ventanas móviles de diferente longitud (30 años, 25 años y 20 años); la significación de la tendencia se ha analizado por medio del test de Mann-Kendal, y la tasa mediante el estimador de pendiente de Sen. Los resultados sugieren que la tasa de calentamiento en la España peninsular alcanzó un máximo la década de 1970, seguido de una disminución en la intensidad, tanto en Tmax y Tmin hasta el presente en todos los rangos altitudinales. Por otra parte, la disminución de la tasa de calentamiento en Tmax ha sido mayor que en Tmin en las últimas décadas, por lo tanto el calentamiento anual más reciente parece depender más de las temperaturas nocturnas (Tmin) que diurnas (Tmax). El estudio detecta algunas diferencias entre estaciones y, durante las últimas décadas, las tasas más altas de calentamiento se encuentran en la primavera y el verano, con Tmax y Tmin comportándose de diferentes maneras en cada rango altitudinal. Por último el presente estudio pone de relieve cómo la tasa de calentamiento depende en gran medida de la duración del período analizado.

PALABRAS CLAVE: Temperatura, máxima, mínima, base de datos, tendencia anual, tendencia estacional, altitud, España.

Recibido: ____; Revisado: ____; Aceptado: ____

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	7
1.1. Antecedentes y estado de la cuestión	7
1.2. Justificación e hipótesis	10
1.3. Objetivos	11
2. ÁREA DE ESTUDIO Y MÉTODOS	12
2.1. Área de estudio	12
2.2. Métodos	13
3. RESULTADOS	15
3.1. Evolución de las temperaturas	15
3.1.1. Evolución de la temperatura promedio anual	15
3.1.2. Evolución de la temperatura promedio estacional	16
3.2. Evolución de tendencias en periodos móviles	18
3.2.1. Evolución de la tendencia anual en periodos móviles de 30 años	18
3.2.2. Evolución de la tendencia estacional en periodos móviles de 30 años	20
3.2.2.1. Invierno	20
3.2.2.2. Primavera	21
3.2.2.3. Verano	23
3.2.2.4. Otoño	25
3.3. El efecto de la longitud del periodo en la tendencia	27
3.4. El periodo más reciente.....	29
4. DISCUSIÓN	32
4.1. Evolución de las tendencias de temperatura	32
4.2. El diferente comportamiento de Tmax y Tmin	33
5. CONCLUSIONES	36
6. BIBLIOGRAFÍA	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	El relieve de la Península Ibérica en función de la altitud	13
Figura 2	Distribución espacial de los rangos altitudinales de la malla de 0,1 x 0,1°, España Peninsular	14
Figura 3	Evolución de la temperatura media anual. Periodo 1951-2010	16
Figura 4	Evolución de la temperatura media anual de Tmax y Tmin. Periodo 1951-2010	16
Figura 5	Evolución de la temperatura media estacional de Tmax (1951-2010)	18
Figura 6	Evolución de la temperatura media estacional de Tmin (1951-2010)	18
Figura 7	Análisis de tendencias de los valores medios anuales de Tmax y Tmin en periodos móviles de 30 años por rangos altitudinales	20
Figura 8	Análisis de tendencias de los valores medios de Tmax y Tmin en periodos móviles de 30 años en el invierno por rangos altitudinales	22
Figura 9	Análisis de tendencias de los valores medios de Tmax y Tmin en periodos móviles de 30 años en la primavera por rangos altitudinales	24
Figura 10	Análisis de tendencias de los valores medios de Tmax y Tmin en periodos móviles de 30 años en el verano por rangos altitudinales	26
Figura 11	Análisis de tendencias de los valores medios de Tmax y Tmin en periodos móviles de 30 años en el otoño por rangos altitudinales	28
Figura 12	Análisis de tendencias de la media anual de Tmax y Tmin. Ventanas móviles decrecientes desde 1951-2010 hasta 1991-2010 (60 a 20 años) por rangos altitudinales	29
Figura 13	Análisis de tendencias de los valores medios anuales de Tmax y Tmin en periodos móviles de 20 años por rangos altitudinales	32

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Periodos de máximo calentamiento y sus correspondientes tasas sobre ventanas móviles de 30 años en los distintos rangos altimétricos, Tmax y Tmin promedio anual	20
Tabla 2	Periodos de máximo calentamiento y sus correspondientes tasas sobre ventanas móviles de 30 años en los distintos rangos altimétricos, Tmax y Tmin promedio de invierno	22
Tabla 3	Periodos de máximo calentamiento y sus correspondientes tasas sobre ventanas móviles de 30 años en los distintos rangos altimétricos, Tmax y Tmin promedio de primavera	23
Tabla 4	Periodos de máximo calentamiento y sus correspondientes tasas sobre ventanas móviles de 30 años en los distintos rangos altimétricos, Tmax y Tmin promedio de verano	25
Tabla 5	Periodos de máximo calentamiento y sus correspondientes tasas sobre ventanas móviles de 30 años en los distintos rangos altimétricos, Tmax y Tmin promedio de otoño	27
Tabla 6	Periodos de máximo calentamiento y sus correspondientes tasas sobre un progresivo descenso de las ventanas móviles desde 1951-2010 hasta 1991-2010 (60 a 20 años) en los distintos rangos altimétricos, Tmax y Tmin promedio anual	30
Tabla 7	Máximos calentamientos sobre ventanas móviles de 30 años en los distintos rangos altimétricos	30
Tabla 8	Máximos calentamientos sobre ventanas móviles de 25 años en los distintos rangos altimétricos	31
Tabla 9	Máximos calentamientos sobre ventanas móviles de 20 años en los distintos rangos altimétricos	31

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes y estado de la cuestión

El presente Proyecto Fin de Grado se enmarca en el contexto del Cambio Global que de manera resumida es la hipótesis que sugiere que el aumento de las temperaturas observado en el planeta se debe de manera principal al efecto que las emisiones humanas de los llamados gases con efecto invernadero producen sobre dicho aumento de las temperaturas. El fundamento de dicha hipótesis es que los gases atmosféricos permiten el paso de gran parte de la radiación solar de onda corta mientras que son muy absorbentes en longitudes de onda larga, en las que se produce principalmente la emisión terrestre.

La humanidad con su actividad industrial está modificando la composición química de la atmósfera, aunque no sabemos muy bien en qué medida los efectos finales sobre el clima. Y tampoco sabemos muy bien cómo el sistema terrestre responderá a tales cambios. Cotidianamente modificamos la composición atmosférica, incrementando el efecto invernadero y destruyendo el ozono estratosférico. Transformamos la biosfera, condenando a la extinción a numerosas especies, modificando genéticamente otras y reduciendo con todo ello la biodiversidad. Cambiamos radicalmente el paisaje y con ello el albedo planetario y el ciclo hidrológico (Martín Chivelet, 1999). Sin embargo, y a pesar de las alteraciones a que sometemos a nuestro planeta, es importante no olvidar la variabilidad intrínseca del sistema climático. En este sentido, la variabilidad del clima se refiere a las variaciones en el estado medio de la atmósfera en las escalas temporales más allá de fenómenos meteorológicos determinados. Esta variabilidad puede deberse a variaciones en los agentes fuera del sistema climático (como son las fluctuaciones de la radiación solar o las modificaciones de la órbita de la tierra alrededor del sol) o dentro del sistema climático (como las erupciones volcánicas, cambios en la extensión de las superficies heladas, en la configuración del relieve, incremento del CO₂, deforestación). Todo provoca necesariamente cambios en el clima y en su distribución (Cuadrat-Prats, Fernanda-Pita, 2011). Así ha ocurrido en el pasado y es previsible que ocurra en el futuro. En consecuencia, se origina una combinación de estabilidad y cambio en el tiempo, que permite decir del sistema climático terrestre que es un sistema dinámico en equilibrio transitorio. A la variabilidad intrínseca del sistema climático se le superpone la que introduzcan las modificaciones humanas. Además debemos saber que no es una tarea sencilla separar los factores naturales del cambio climático de aquellos introducidos por el hombre.

La evolución de las temperaturas en la España peninsular se ha caracterizado por una primera fase de calentamiento desde comienzos del siglo XX seguida de un periodo de enfriamiento durante 1940-1970 a veces relacionado con el final de la Pequeña Edad de Hielo y una fase final caracterizada por un rápido calentamiento hasta el final del siglo XX (Pérez y Boscolo, 2010). Durante los años más recientes, este calentamiento parece haberse detenido o disminuido en intensidad, siendo llamado este periodo hiato (Easterling y Wehner, 2009; Fyfe et al., 2013; Kosaka y Xie, 2013). El hiato se define

como la falta de una tendencia al calentamiento estadísticamente significativa (Meehl, 2015).

Se han propuesto varias interpretaciones de la evolución de la temperatura y la reciente pausa en la tasa de calentamiento: la disminución de la concentración de vapor de agua estratosférico (Solomon et al, 2010), la redistribución de calor entre las capas superior e inferior oceánicas, concretamente en el pacífico (Meehl et al., 2011; Chen y Tung, 2014) y la combinación de la variabilidad interna del clima y el forzamiento radiativo, incluyendo factores antropogénicos como las emisiones humanas y no sólo de CO₂ (Kaufmann et al., 2011). El hiato a veces sólo se ha aceptado durante el invierno (Cohen et al., 2013), aunque no ha habido consenso. Por último, en fecha muy reciente, Karl et al (2015) han sugerido que la tasa de calentamiento se ha mantenido casi constante hasta el presente y el hiato no ha existido.

Numerosos estudios han señalado que el aumento global de las temperaturas no ha sido homogéneo, y que otros efectos derivados de la intervención humana en los paisajes podrían tener unos efectos no considerados hasta el momento, como los cambios de albedo o la deforestación (Tabari y Hosseinzadeh, 2011).

Yue et al (2007) encontraron incrementos de temperatura media en las tendencias anuales, estacionales y mensuales de Japón durante el periodo 1900-1996. Turkes et al (2004) estudiaron los patrones espaciales y temporales de las tendencias en las temperaturas máximas y mínimas y en el rango diurno en Turquía para el periodo 1929-1999. La temperatura máxima mostró un calentamiento y un enfriamiento débil en comparación con el calentamiento significativo de la temperatura mínima en muchas regiones del país y en la mayoría de estaciones. Gadgil et al (2005) investigaron la variación temporal de la temperatura sobre la ciudad de Pune (India), durante el período 1901-2000. Su análisis reveló una disminución importante de la temperatura media anual y de Tmax. Su et al (2006) analizaron las tendencias de temperatura y de precipitaciones extremas observadas sobre Yangtze desde 1960 a 2002 sobre la base de los datos diarios de 108 estaciones meteorológicas. Los resultados mostraron que las tendencias de temperatura media de las máximas y mínimas anuales y estacionales se caracterizaban por una tendencia positiva y la tendencia más fuerte se encontró en la temperatura media mínima de invierno. Zhang et al (2008) trataron los patrones espaciales y temporales de las temperaturas extremas utilizando el test de Mann-Kendall y el método de regresión lineal. Su análisis indicó que la temperatura mínima estacional presentaba una tendencia al incremento cada vez mayor que la temperatura máxima estacional. En comparación con los cambios de temperatura máxima, más estaciones mostraron tendencias significativas al incremento de tendencias mínimas en frecuencia e intensidad. Soltani y Soltani (2008) evaluaron las tendencias en la temperatura del aire y las series de precipitación en el tiempo utilizando la regresión lineal en las estaciones de Bojnord, Mashhad y Birjand en el noreste de Irán. Encontraron una tendencia positiva significativa en la temperatura mínima del aire en las estaciones de Bojnord y Mashhad y una tendencia negativa significativa en la estación de Birjand. Además, el estudio mostró tendencias positivas y negativas significativas en la temperatura máxima

del aire en las estaciones de Mashhad y Birjand, respectivamente. Esta breve revisión de algunos trabajos en diferentes lugares del planeta manifiesta que el fenómeno del calentamiento además de mostrar variabilidad entre lugares identifica que las temperaturas máximas y mínimas se comportan de maneras diferentes, lo que sugiere que existen aún numerosas cuestiones sin resolver que deben seguir investigándose.

En la España peninsular las investigaciones sobre temperatura son numerosas (García-Legaz y Valero, 2013). Brunet et al (2007) analizaron los patrones temporales y espaciales de los cambios de temperatura a largo plazo sobre España durante el periodo 1850-2003 por medio de una base de datos de las temperaturas diarias máximas, mínimas y medias desarrolladas a partir de los 22 registros más largos y seguros de España. Para el periodo completo, un calentamiento muy significativo (en el nivel 0.01) de 0,11°C por década (intervalo de confianza del 95% de 0,07/0,14) fue estimado para la media anual de las temperaturas medias diarias. Prieto et al (2004) investigaron datos de 45 observatorios distribuidos en la España peninsular para el periodo 1955-1998. Observaron una tendencia decreciente en la frecuencia de temperaturas extremas mínimas de invierno. Del Río et al (2011) analizaron la distribución espacial de las tendencias de la temperatura media mensual, estacional y anual de España durante el periodo 1961-2006. La magnitud de las tendencias se derivó de las pendientes de las tendencias lineales utilizando un ajuste de mínimos cuadrados. Además se utilizó la prueba no paramétrica de Mann-Kendall para determinar la significación estadística de las tendencias. El estudio reveló que la temperatura ha aumentado en general en todos los meses y las estaciones del año en las últimas cuatro décadas. Moratíel et al (2010) estudiaron el impacto del cambio climático y su relación con la evapotranspiración en la cuenca del río Duero. El estudio mostró las posibles situaciones futuras de 50 años a partir de ahora de la evapotranspiración de referencia. Las tendencias de temperatura máxima, mínima, punto de rocío, velocidad del viento y radiación neta durante 1980-2009 fueron extrapoladas con la ecuación FAO-56 Penman-Montheith a cuatro escenarios tomando diversos valores de la concentración de CO₂ y el período analizado (anual o mensual). Estos escenarios mostraron los cambios en la evapotranspiración como consecuencia de las tendencias anuales y mensuales de las variables mencionadas con las concentraciones actuales y futuras de CO₂, todo ello suponiendo que los modelos se hayan ajustado a la realidad.

En estudios subregionales, Piñol et al (1998) investigaron dos índices de peligro de incendios forestales en base a datos meteorológicos diarios en una localidad mediterránea del NE de España durante la serie climática 1941-1994. Ambos índices de peligro de incendio incrementaron durante este período, como consecuencia del aumento de la temperatura media diaria máxima y la disminución de la humedad relativa mínima diaria. Serra et al (2001) estudiaron las temperaturas diarias máximas y mínimas registradas en el Observatorio Fabra (Barcelona) durante 1917-1998 mediante un proceso de filtrado para detectar la falta de homogeneidad. Las series de temperaturas extremas máximas y mínimas mostraron un comportamiento muy similar. El resultado fue una falta de homogeneidad para ambas temperaturas extremas en el periodo 1944-

1951. Esta heterogeneidad se caracteriza por un pequeño cambio de cerca de $0,3^{\circ}\text{C}$, con una significación estadística del 95%. Además, tanto T_{max} como T_{min} tuvieron un incremento sostenido de las temperaturas hasta cerca del año 1980. Morales et al (2005) obtuvieron unos resultados que sugerían que tan sólo existían tendencias crecientes, a un nivel de confianza del 95%, en las máximas y medias del periodo de invierno. Fuera de ese umbral, la tendencia era del mismo signo en verano, mientras que eran decrecientes en todas las variables en sus estaciones equinocciales. Mientras, en el subperiodo 1972-1996, las temperaturas máximas, mínimas y medias anuales presentaron una tendencia creciente a ese nivel de confianza. Martínez et al (2010) analizaron las temperaturas máximas y mínimas diarias, T_{max} y T_{min} y el rango de temperaturas diurnas, DTR, de 37 estaciones de temperatura en Cataluña. Los resultados indicaron un aumento generalizado de las tendencias anuales de T_{max} y T_{min} diarias ($0,5^{\circ}\text{C}/\text{década}$), especialmente relevante en la primavera y el verano, con valores que alcanzan $0,8\text{-}0,9^{\circ}\text{C}/\text{década}$. En otoño, sin embargo, las tendencias medias apuntaron a una disminución de T_{max} ($-0,5^{\circ}\text{C}/\text{década}$). Martín et al (2012) estudiaron la variación de la temperatura a diferentes altitudes y orientaciones en la isla de Tenerife, en base a las tendencias en la media, máxima y mínima de 21 estaciones meteorológicas. La temperatura mostró una tendencia de crecimiento estadísticamente significativa de $0,09 \pm 0,04^{\circ}\text{C}/\text{década}$ desde 1944. Las temperaturas nocturnas aumentaron más ($0,17^{\circ}\text{C} \pm 0,04^{\circ}\text{C}/\text{década}$), mientras que por el día fueron más estables.

1.2 Justificación e hipótesis

Los estudios precedentes señalan un aumento de las temperaturas durante el siglo XX en España, pero se han identificado diferencias en el comportamiento estacional así como entre máximas y mínimas (González-Hidalgo et al., 2015). Además, no existe hasta el momento un análisis de tendencias por altitudes. Los diferentes estudios no concuerdan en cuáles han sido las estaciones con tendencias más marcadas señalando en casos el invierno y en otros la primavera y verano. También, unos estudios sugieren que es la temperatura mínima (T_{min}) quien tiene las tendencias significativas más acusadas mientras que otros estudios nos sugieren que son las máximas (T_{max}). Finalmente, la disponibilidad de una nueva base de datos de promedios mensuales de T_{max} y T_{min} en el periodo 1951-2010, nos ha sugerido el presente Proyecto Fin de Grado en el que se plantea el estudio de la evolución de tendencias de T_{max} y T_{min} por rangos altitudinales, con el objetivo de detectar posibles variaciones y diferencias del calentamiento originadas por la altitud, o diferencias de comportamiento entre T_{max} y T_{min} en la escala estacional y anual.

Debido a que la señal global detectada recientemente en la tendencia de las temperaturas es homogénea en el territorio peninsular español (González-Hidalgo et al., 2015), la hipótesis global es que el comportamiento general de las temperaturas durante la segunda mitad del siglo XX no ha sido afectada por la altitud, siendo semejante además el comportamiento de las temperaturas diurnas (T_{max}) y nocturnas (T_{min}) en el periodo 1951-2010.

1.3 Objetivos

El **objetivo general** del presente TFG es:

- Analizar la evolución de las tendencias de temperatura en la España peninsular en intervalos altitudinales a lo largo de un periodo de sesenta años (1951-2010) empleando una malla de alta resolución y estudiar si hay diferencias por alturas en las temperaturas diurnas (Tmax) y nocturnas (Tmin).

Para que se cumpla el objetivo general, es imprescindible tratar unos **objetivos específicos** de vital importancia:

- Calcular las series regionales por intervalos de alturas de Tmax y Tmin
- Analizar las tendencias en las escalas estacional y anual de Tmax y Tmin y su variación en el tiempo por medio de ventanas móviles
- Identificar el periodo (ventanas) de mayor intensidad de calentamiento significativo y las eventuales diferencias entre Tmax y Tmin por rangos altitudinales
- Reconocer la existencia o no del hiato en las décadas finales del siglo XX, si afecta a Tmax o Tmin y si es reconocible en escala estacional
- Convertir este Trabajo de Fin de Grado en un punto de referencia para el estudio del fenómeno para futuros investigadores y estudiantes.

De los resultados del presente análisis se esperaría nueva información del fenómeno analizado y conocer si el aumento térmico es tan intenso como se señala en los medios de comunicación, si es homogéneo en el día y la noche, si varía estacionalmente, si está afectado o no por altitudes y finalmente si el hiato se puede detectar en todo el territorio y varía con la altitud.

2. ÁREA DE ESTUDIO Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio

España se localiza al suroeste de Europa y al norte de África, en la zona templada del hemisferio norte. Ocupa la mayor parte de la Península Ibérica, estando rodeada por Portugal, Francia, el océano Atlántico y el mar Mediterráneo con extensión de unos 500.000 km² (36°N y 44°S; 10°W y 3°E). Su posición es especialmente interesante desde el punto de vista climático, ya que se ubica en la transición del clima subtropical de regiones de latitudes medias. Además, está rodeado por dos masas de agua completamente diferentes que acarrearán un ambiente más frío al norte (océano atlántico) y un ambiente más cálido al sur (mar mediterráneo). Asimismo, se encuentra bajo la influencia de la circulación general del oeste y sus cadenas montañosas se distribuyen de oeste a este (cordillera Cantábrica, Pirineos, Sistema Central, montes de Toledo, Sistemas Béticos), uniéndose en el este por el Sistema Ibérico que se prolonga de norte a sur (González-Hidalgo et al., 2015).

El territorio español está muy fracturado (figura 1), y tiene una elevada altitud media (660 m), con una disposición periférica de los sistemas montañosos que aíslan el interior de la influencia marina especialmente en sentido norte-sur y este-oeste.

El interior de la Península Ibérica es de elevada altitud (>500 m) y está rodeado por las alineaciones de relieve mencionadas con alturas entre 1000 y 3000 m. Mientras que las zonas bajas (<500 m) se encuentran en la costa norte, este y sur y también en las cuencas del Ebro y del Guadalquivir.

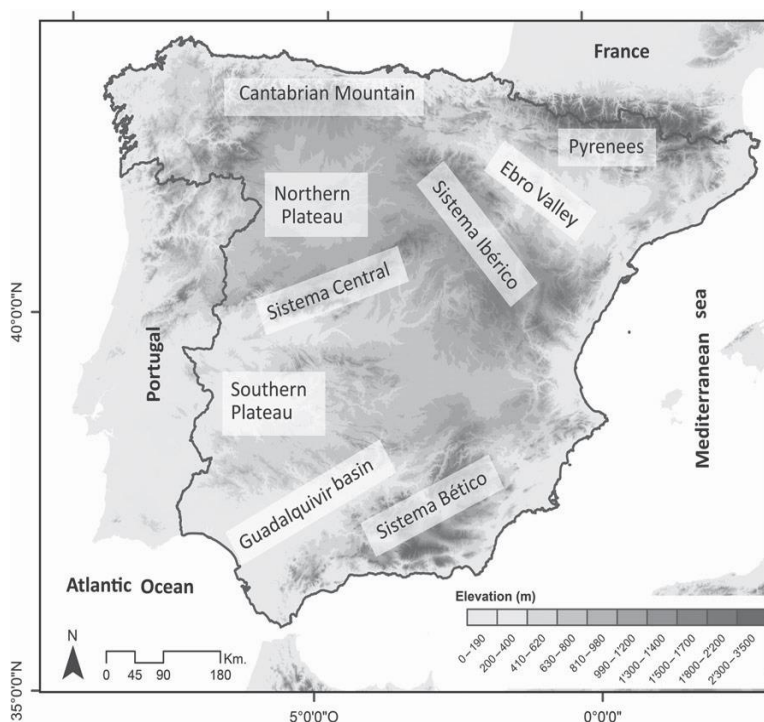


Figura 1. El relieve de la Península Ibérica en función de la altitud.

Todo ello conlleva que las temperaturas se caractericen por tener fuertes gradientes de norte a sur y de la costa a las zonas del interior. Debido a las características ya mencionadas (relieve, clima y localización) se puede decir que en España la variabilidad climática es un hecho comprobado.

2.2 Métodos

El estudio tiene como punto de partida la información contenida en la recientemente creada base de datos de temperatura promedio mensual (MOTEDAS) en su versión malla. Esta base de datos se ha elaborado en el Departamento de Geografía de la Universidad de Zaragoza tras efectuar un control de calidad de las series originales de temperaturas medias mensuales máximas (Tmax) y mínimas (Tmin) almacenadas en los archivos de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) (González-Hidalgo et al., 2015).

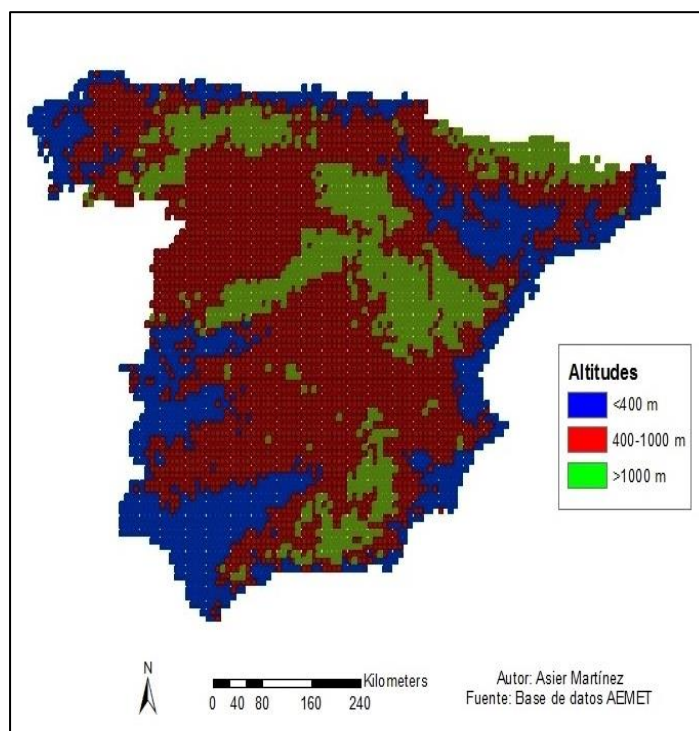


Figura 2. Distribución espacial de los rangos altitudinales de la malla de $0,1 \times 0,1^\circ$, España Peninsular.

La base de datos consiste en una malla con una resolución de $0,1 \times 0,1^\circ$ expresada como anomalías o $^\circ\text{C}$ de la serie de Tmax y Tmin en el periodo 1951-2010. En cada uno de los registros de ambas temperaturas se han ordenado los píxeles por altitud para poder calcular los valores promedio mensuales en función de los diferentes rangos de altitudes seleccionados. Los intervalos analizados tratan de reflejar las tres grandes unidades paisajísticas peninsulares: <400 m sobre nivel del mar (snm), es decir áreas costeras; 400-1000 m snm, las grandes depresiones interiores (mesetas); y finalmente >1000 m snm, las áreas de montaña. La distribución de los rangos altitudinales se puede ver en la figura 2. El intervalo < 400 m snm incluye los espacios de costa mediterránea, atlántica y cantábrica y las cuencas bajas del Guadalquivir, del

Guadiana, del Tajo y del Ebro. Conviene señalar que el filtrado por alturas incluye el sector del valle del Valle del Ebro que pertenece a ámbitos climáticos diferentes a los costeros, y queda pendiente su análisis individualizado.

Una vez ordenados los píxeles por altitud y calculados los valores promedio mensuales de Tmax y Tmin de cada rango altitudinal se procedió a obtener los valores promedio estacionales y anuales y sus anomalías correspondientes para realizar los análisis de tendencias de temperatura. La significación de la tendencia se evaluó con el test Mann-Kendall y la velocidad de cambio (su tasa o intensidad del calentamiento) mediante el estimador de pendiente de Sen (Sen, 1968). Las tendencias se evaluaron considerando ventanas móviles de 30, 25 y 20 años, así como de longitud decreciente desde 60 años (longitud del periodo incluido en la base de datos) a 20 años, periodo mínimo que se entiende refleja una tendencia climática.

Algunos comentarios finales sobre el análisis propuesto y sus limitaciones o perspectivas sugieren que futuros trabajos podrían estudiar las temperaturas por altura dentro de cada cuenca hidrográfica. Por otro lado, se viene indicando que el aumento térmico es superior en altitud (Mountain Research Initiative EDW Working Group, 2015), aunque no hay demasiada información sobre ello, y particularmente en España a partir de 2.000 m la información no existe, pero ello sugeriría según lo precisado que la temperatura habría podido ascender más en el interior peninsular que en las zonas de costa. A pesar de todo lo comentado, en este apartado metodológico se indica que la línea a seguir tiene que ser la cautela y lo que realmente se ofrecerá es el contraste entre los rangos altitudinales de < 400 m, 400-1000 m y > 1000 m. Por último, debemos señalar que en < 400 m nos encontramos con ambientes climáticos muy diferentes (cantábrico y mediterráneo), dando posibilidad a futuros trabajos.

Finalmente, el estudio de las tendencias en ventanas móviles permite tanto comparar los resultados con anteriores estudios, como por otro lado conocer cómo se comportan en el tiempo las tendencias.

3. RESULTADOS

3.1 Evolución de las temperaturas

3.1.1 Evolución de la temperatura promedio anual

La temperatura media anual relativa al periodo 1951-2010 se presenta en la figura 3. La figura no solamente muestra el enfriamiento desde 1960 hasta principios de 1970 y el posterior calentamiento bien informados (Brunet et al., 2006, 2007). También nos sugiere un hiato reciente desde la década de 1990 hasta la actualidad. Se refleja un comportamiento idéntico de las temperaturas en los tres rangos altitudinales (< 400 m, 400-1000 m y > 1000 m); las diferencias en magnitud de las tres series reflejan el conocido descenso de aquellas con la altitud. La figura 4 muestra la evolución del valor medio anual de Tmax y Tmin, y muestra un comportamiento similar a la temperatura media anual. Las diferencias más destacables son que en Tmax las diferencias en los valores de los tres intervalos son inferiores a las de Tmin, en las que se puede observar una mayor diferencia especialmente entre los dos intervalos de menor altura. Estos resultados sugieren que las diferencias altitudinales se hacen más marcadas con la altitud durante la noche mientras que durante el día se reduce el efecto de la altura, lo que plantea qué factores pueden ser su causa. La comparación directa entre los tres intervalos no se puede realizar por no ser exactamente idénticos en sus rangos altitudinales, y por ello no se puede aplicar el gradiente estático vertical promedio.

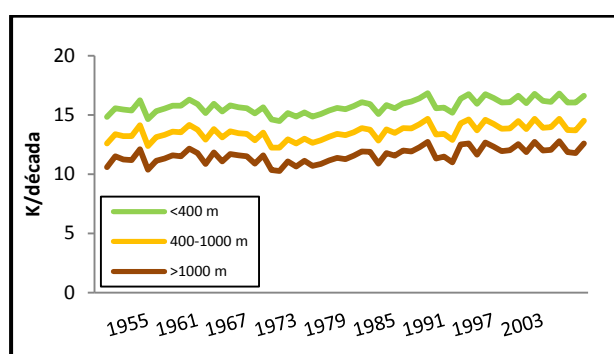


Figura 3. Evolución de la temperatura media anual (1951-2010). Periodo 1951-2010.

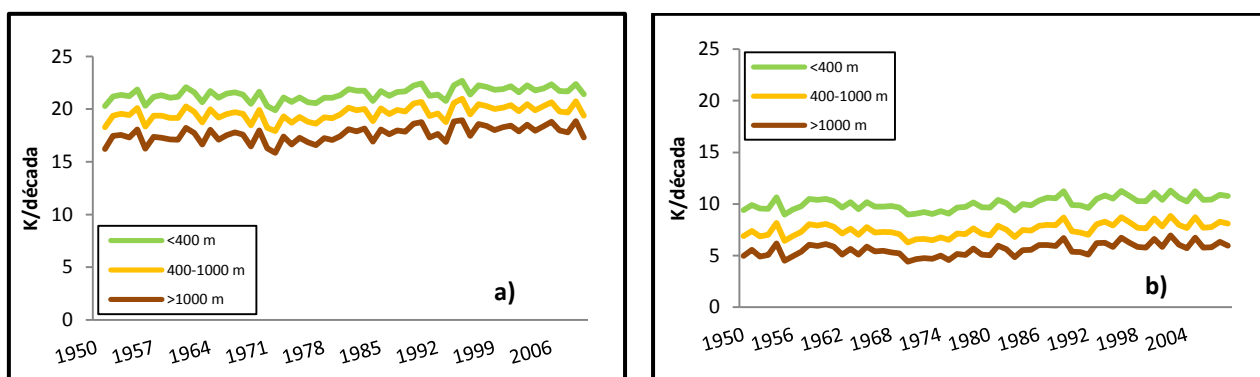


Figura 4. Evolución de la temperatura media anual de a) Tmax y b) Tmin. (1951-2010). Periodo 1951-2010.

3.1.2 Evolución de la temperatura promedio estacional

La evolución estacional de los valores medios de Tmax y Tmin se presenta en las figuras 5 y 6. Las figuras indican la diferente evolución de las temperaturas diurnas (Tmax) y nocturnas (Tmin) en los sucesivos rangos altitudinales. En lo que concierne a Tmax (figura 5), la evolución de la primavera se asemeja a los valores anuales, y la aparente tendencia positiva sostenida es detectada por inspección visual en verano. De tal forma, el patrón observado de enfriamiento (1960-1972)-calentamiento (desde la década de los 70 hasta la década de los 90)-hiato (actualidad) parece muy destacado en primavera, quedando reflejado de una manera menos evidente y no tan marcada en verano. Por el contrario, otoño parece inmerso en un hiato prolongado hasta finales de la década de los 80, mientras que en invierno no se observan claramente los cambios producidos en las temperaturas máximas anuales. Este análisis visual parece sugerir que la tendencia al calentamiento en el periodo 1951-2010 ha diferido entre estaciones y entre el día y la noche. En general, las diferencias entre altitudes son mínimas a excepción de zonas de costa y depresiones en invierno, y entre estas y las áreas a mayor altura (>1000 m snm) en verano.

En cuanto a Tmin (figura 6), en primavera se observa un patrón muy similar respecto a los valores anuales. Contrastando Tmin y Tmax, se puede corroborar una evolución bastante similar de las temperaturas tanto en primavera como en verano. Otoño en Tmax tiene una mayor variabilidad que en Tmin hasta mitad de la década de los años 70 para después continuar con un comportamiento muy parecido de las temperaturas máximas y mínimas. El hiato de invierno en Tmin parece mucho más visible que el de Tmax, siendo prolongado a lo largo de toda la serie. En general el análisis visual detecta que en Tmin las diferencias entre altitudes son mucho más marcadas que en Tmax en las cuatro estaciones. En cualquier caso, las figuras mostradas proporcionan al lector una visión de lo que a partir de ahora se va a exponer en el análisis de tendencias por ventanas móviles.

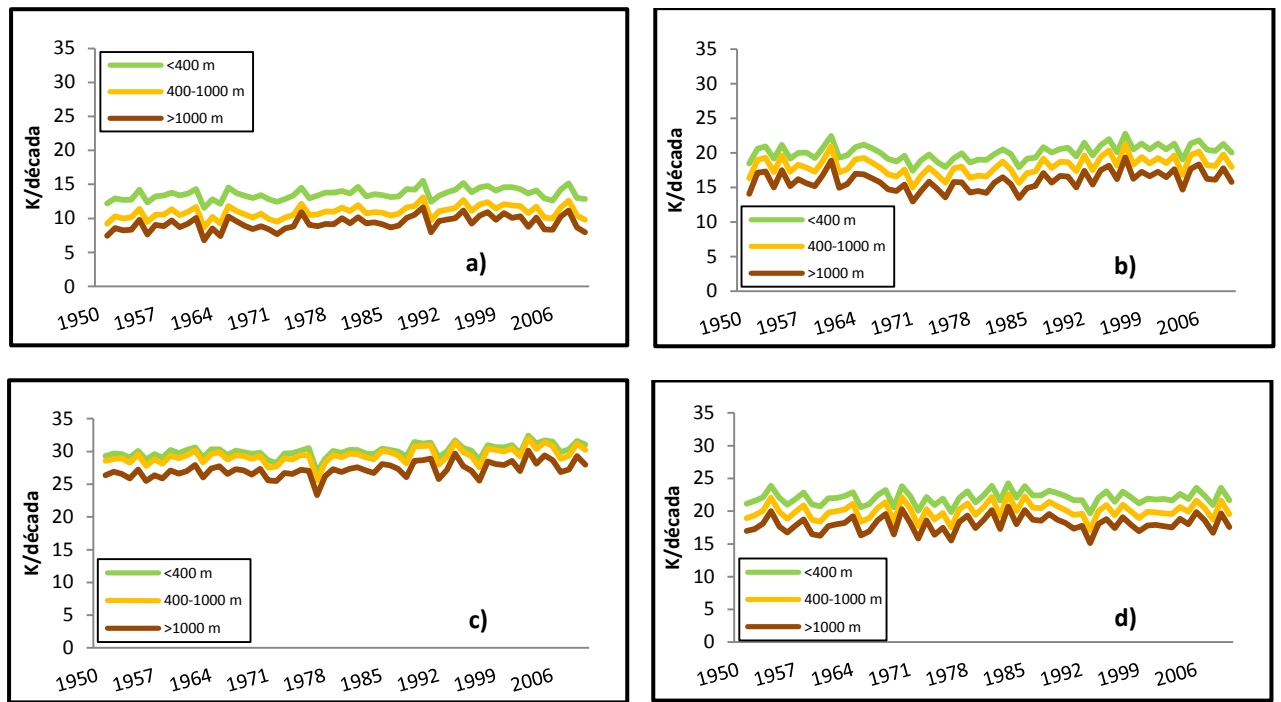


Figura 5. Evolución de la temperatura media estacional de Tmax (1951-2010). a) Invierno, b) primavera, c) verano y d) otoño. Periodo 1951-2010.

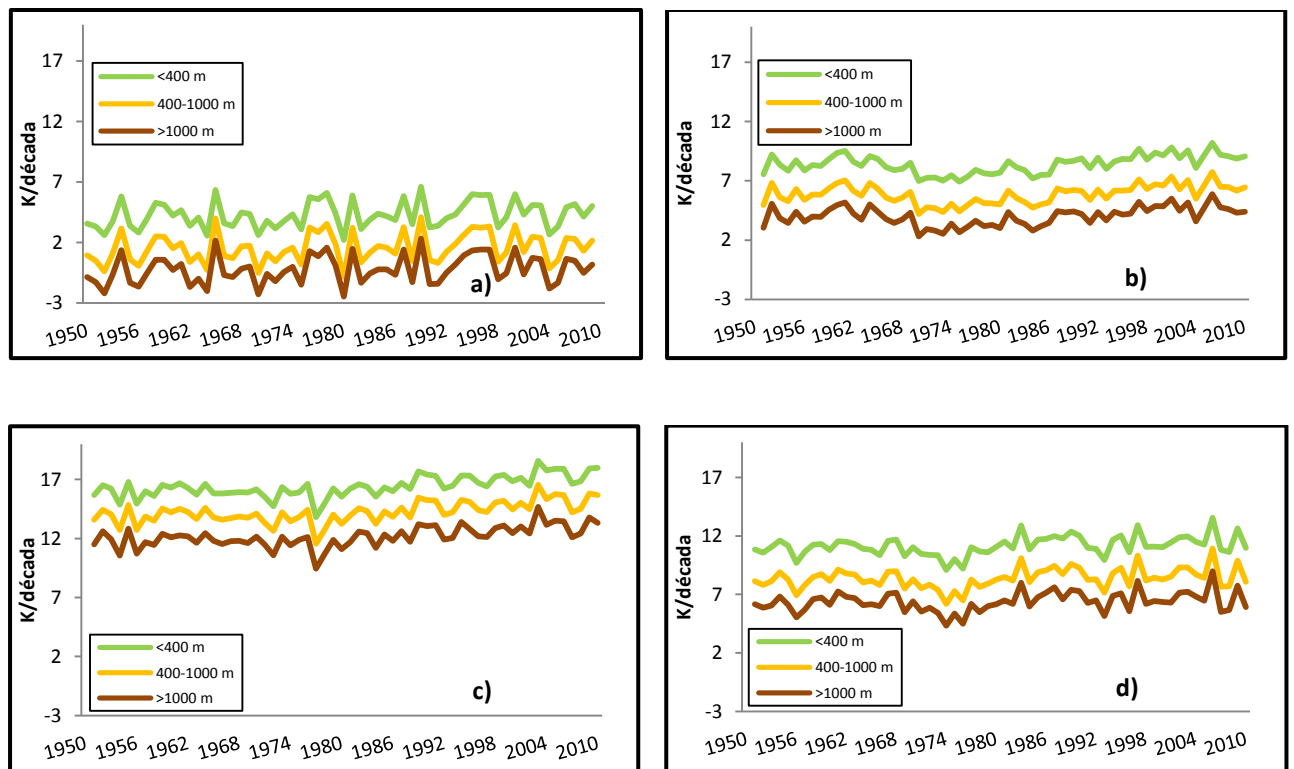


Figura 6. Evolución de la temperatura media estacional de Tmin (1951-2010). a) Invierno, b) primavera, c) verano y d) otoño. Periodo 1951-2010.

3.2 Evolución de tendencias en periodos móviles

3.2.1 Evolución de la tendencia anual en periodos móviles de 30 años

La selección de 30 años para realizar la primera aproximación a la evolución de las tendencias de Tmax y Tmin se basa en que es el periodo mínimo que tradicionalmente la OMM indica que debe incluirse en todo análisis climático.

La figura 7 muestra la evolución de la tasa de la temperatura promedio anual de Tmax y Tmin (expresada en K/década) en periodos móviles de 30 años. En ella podemos apreciar cómo las tendencias aumentan progresivamente hasta llegar al periodo 1969-1998. A partir de esta fecha, las tendencias comienzan a descender continuamente hasta el periodo reciente. La evolución que han tenido las tendencias ha sido muy similar en todos los rangos altitudinales, aunque no debemos olvidar que a medida que ha aumentado la altitud, la tasa máxima lograda ha ido incrementándose (tabla 1).

La evolución de la tasas de Tmin y de Tmax en su inicio no han sido significativas, incluso con signos negativos. El estudio de la evolución por intervalos de altitudes permite observar algunas diferencias destacables. Tanto en intervalo de < 400 m como en 400-1000 m, el primer periodo de tendencia significativa y positiva comienza un año más tarde (1962-1991) en comparación con > 1000 m (1961-1990). Este periodo significativo y positivo tiene una menor duración en < 400 m y 400-1000 m. Además, el periodo significativo ha sido más prolongado en < 400 m. Desde el comienzo de la tendencia significativa con signo positivo la evolución ha sido prácticamente similar en todos los rangos altitudinales: las tasas aumentaron hasta el máximo (1969-1998), que es más marcado en zonas de montaña en Tmax, para posteriormente descender su intensidad.

Los periodos significativos tanto en Tmin como en Tmax en todos los rangos altitudinales no han variado demasiado, siendo principalmente, hasta mediados de la década de 1970 donde se han visto los aumentos de temperatura más significativos (Figura 7). Un segundo aspecto de importancia es la constatación de que han aumentado más las temperaturas mínimas en alturas inferiores a 1000 m, mientras que en zonas de montaña > 1000 m han aumentado más las máximas.

En el periodo más reciente, se debe destacar que la tasa de Tmin supera a la de Tmax en todos los rangos altitudinales, a pesar de que han ido disminuyendo las distancias entre Tmin y Tmax con la altitud. Las tendencias en este periodo han sido descendentes y significativas en Tmin, con la significación más prolongada en el intervalo <400 m. En Tmax no han sido significativas en la última treintena.

	Tmax		Tmin	
Altitud	Max cal.	Tasa	Max cal.	Tasa
< 400 m	1969-1998	0,561	1970-1999	0,605
400-1000 m	1969-1998	0,632	1970-1999	0,609
> 1000 m	1969-1998	0,677	1970-1999	0,561

Tabla 1. Periodos de máximo calentamiento y sus correspondientes tasas sobre ventanas móviles de 30 años en los distintos rangos altimétricos, Tmax y Tmin promedio anual. Valores significativos en negrita ($p < 0.05$)

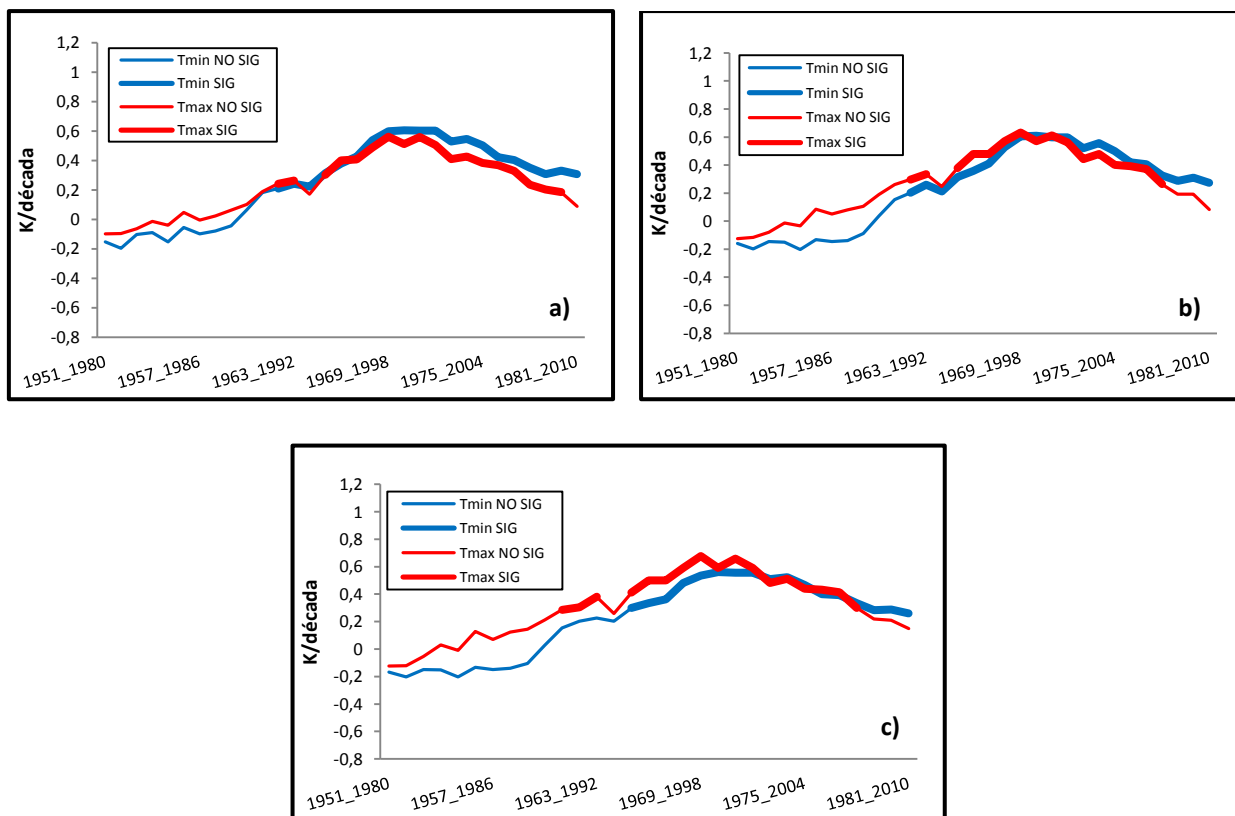


Figura 7. Análisis de tendencias de los valores medios anuales de Tmax y Tmin en periodos móviles de 30 años. a) < 400 m, b) 400-1000 m y c) > 1000 m. Las líneas gruesas/finas indican un nivel $p < 0,05$ significativo (no significativo).

3.2.2 Evolución de la tendencia estacional en periodos móviles de 30 años

3.2.2.1 Invierno

La figura 8 nos muestra la evolución en ventanas móviles de las tendencias de la temperatura media de Tmin y Tmax durante el invierno. Se puede apreciar como las tendencias aumentan hasta 1971-2000 en Tmax y hasta 1969-1998 en Tmin. A partir de estos periodos, las tendencias comienzan a descender progresivamente hasta el periodo reciente. La evolución que han tenido las tendencias ha sido muy similar en todos los rangos altitudinales, aunque no debemos olvidar que a medida que ha aumentado la altitud, la tasa del periodo con máximo valor ha ido incrementándose (tabla 2).

La evolución de las tasas en Tmax ha sido distinta entre los diferentes rangos altitudinales. En < 400 m las Tmax son significativas y positivas desde 1961-1990 hasta 1976-2005 a pesar de que desde el periodo 1971-2000, que tiene la mayor tasa, ha visto disminuida su tendencia que deja de ser significativa desde el periodo 1976-2005. Entre 400-1000 m las tendencias en Tmax han sido significativas y positivas hasta el presente, si bien han disminuido su tasa a partir del máximo (1971-2000). En > 1000 m el intervalo de tiempo que las Tmax son significativas es el mismo que en < 400 m, con la única diferencia que las temperaturas comienzan y terminan siendo significativas y positivas un año antes (desde 1960-1989 hasta 1975-2004). En líneas generales, la evolución de las tendencias de Tmax en su momento más intenso sugiere que las mayores tasas se han producido con la altitud, siendo más destacadas en > 1000 m, y en las décadas más recientes solamente son significativas en el intervalo 400-1000 m, es decir, el interior peninsular.

En Tmin el hecho que más destaca es la ausencia de significación en las ventanas analizadas con su máximo en el periodo 1969-1998. Se observa el mismo patrón en todos los rangos altitudinales. En el periodo reciente solamente se mantiene la significación en mesetas en Tmax, teniendo una línea descendente. En cambio, en todos los rangos altitudinales de Tmin las tasas de Tmin no son significativas.

En resumen, podemos afirmar que durante el invierno las tendencias de Tmax han sido más intensas que las de Tmin (que no ha tenido ningún periodo significativo) en todos los rangos altitudinales, de modo que el calentamiento ha sido mayor durante el día y en zonas de montaña. Esto significa que la media estacional de invierno de Tmax en > 1000 m aumentó más rápido que en el resto de rangos (tabla 2). Además desde hace décadas las tasas no son significativas en ambas medidas de temperatura excepto en el interior.

	Tmax		Tmin	
Altitud	Max cal.	Tasa	Max cal.	Tasa
< 400 m	1971-2000	0,480	1969-1998	0,417
400-1000 m	1971-2000	0,589	1969-1998	0,477
> 1000 m	1971-2000	0,681	1969-1998	0,469

Tabla 2. Periodos de máximo calentamiento y sus correspondientes tasas en ventanas móviles de 30 años en los distintos rangos altimétricos, Tmax y Tmin promedio de invierno. Valores significativos en negrita ($p < 0.05$)

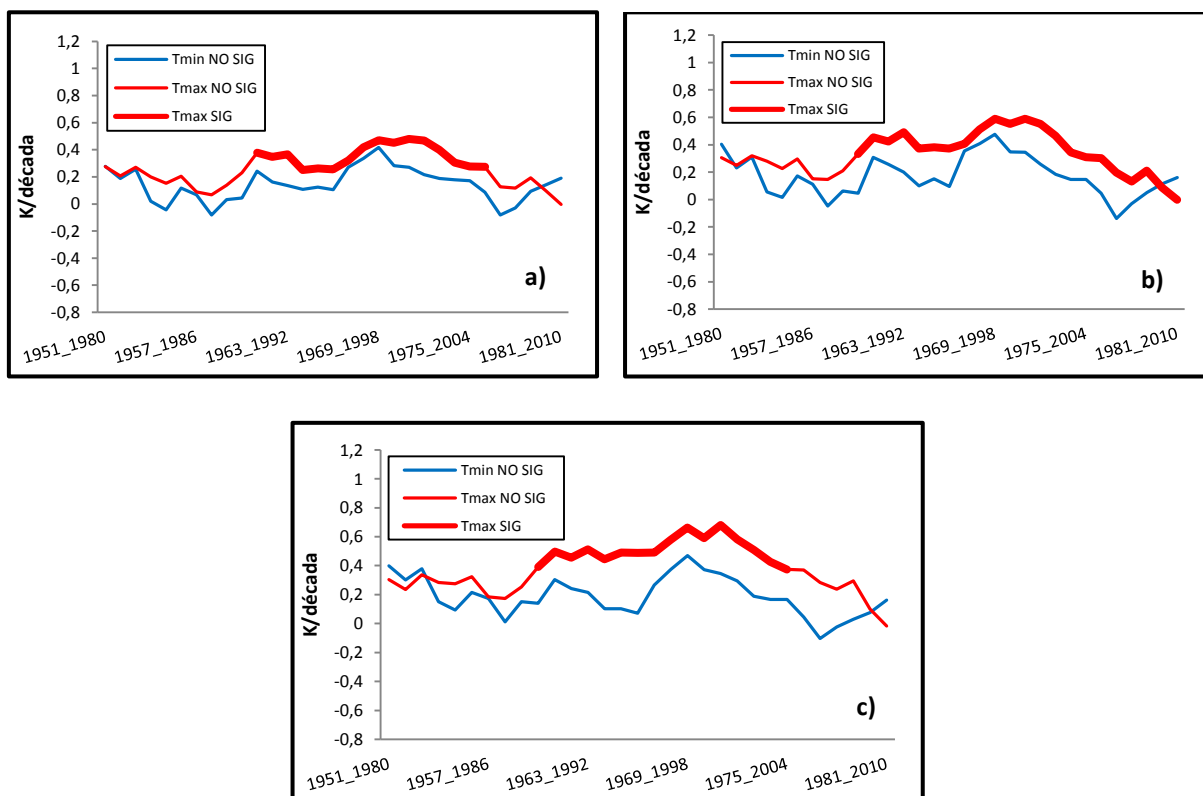


Figura 8. Análisis de tendencias de los valores medios de Tmax y Tmin en periodos móviles de 30 años en el invierno. a) < 400 m, b) 400-1000 m y c) > 1000 m. Las líneas gruesas/finas indican un nivel $p < 0,05$ significativo (no significativo).

3.2.2.2 Primavera

La evolución de las tendencias en primavera de la temperatura media de Tmax y Tmin en periodos móviles de 30 años se muestra en la figura 9. Se puede apreciar cómo las tendencias aumentan hasta 1971-2000 en Tmax y hasta 1972-2001 en Tmin. A partir de estos periodos, las tendencias comienzan a descender progresivamente hasta el periodo reciente. La evolución que han tenido las tendencias ha sido muy similar en todos los rangos altitudinales, aunque no debemos olvidar que, en Tmax, a medida que ha aumentado la altitud, la tasa máxima alcanzada ha sido superior (tabla 3). Como ya iremos desglosando a continuación, en comparación con invierno, las tasas de las tendencias de primavera son mucho más elevadas en los momentos de máximo calentamiento.

Por lo que respecta a la evolución de las tasas en Tmax, en < 400 m se observa el periodo que va desde 1965-1994 hasta 1981-2010 con tendencias significativas y positivas y desde el periodo de mayor tasa (1971-2000) la tendencia ha disminuido pero se mantiene siempre significativa. El mismo patrón en el tiempo se observa entre 400-1000 m, aunque el periodo significativo comienza con un año de retraso en comparación con < 400 m. En > 1000 m, el máximo alcanzado es superior a las tasas máximas logradas a < 400 m y 400-1000 m (tabla 3). Por lo demás, se contempla un idéntico patrón respecto a 400-1000 m. Al igual que en invierno, las mayores tasas para los distintos rangos altitudinales se produjeron en el mismo periodo (1971-2000), siendo más elevadas en primavera.

En cuanto a la evolución de las tasas en Tmin, las diferencias que podemos encontrar entre los diferentes rangos altitudinales son escasas, aunque en contraposición con las Tmin de invierno, en esta estación encontramos periodos significativos prolongados que llegan hasta el presente y que se mantienen idénticos en todos los rangos altitudinales: desde 1952-1981 hasta 1959-1988 se aprecia una tendencia significativa y negativa que finalmente va en aumento; desde 1965-1994 hasta 1981-2010, al igual que en Tmax, encontramos el largo periodo significativo y positivo que en este caso tiene su mayor intensidad en la tasa en < 400 m, seguido de > 1000 m y estando en última posición 400-1000 m. Al igual que en Tmax, las mayores tasas en los diferentes rangos altitudinales se produjeron en el mismo periodo (1972-2001, aunque un año posterior a lo sucedido en Tmax).

En el periodo reciente podemos observar que las tendencias se han mantenido significativas y positivas en todos los rangos altitudinales, siguiendo una línea descendente y siendo mayores en Tmax que en Tmin.

En resumen, en primavera el mayor aumento térmico se ha producido en zonas de montaña durante el día. Tanto Tmax como Tmin mantienen significativas sus tasas, si bien en décadas recientes desciende su intensidad y son muy semejantes sus valores.

	Tmax		Tmin	
Altitud	Max cal.	Tasa	Max cal.	Tasa
< 400 m	1971-2000	1,007	1972-2001	0,795
400-1000 m	1971-2000	1,080	1972-2001	0,725
> 1000 m	1971-2000	1,126	1972-2001	0,744

Tabla 3. Periodos de máximo calentamiento y sus correspondientes tasas sobre ventanas móviles de 30 años en los distintos rangos altimétricos, Tmax y Tmin promedio de primavera. Valores significativos en negrita ($p < 0.05$)

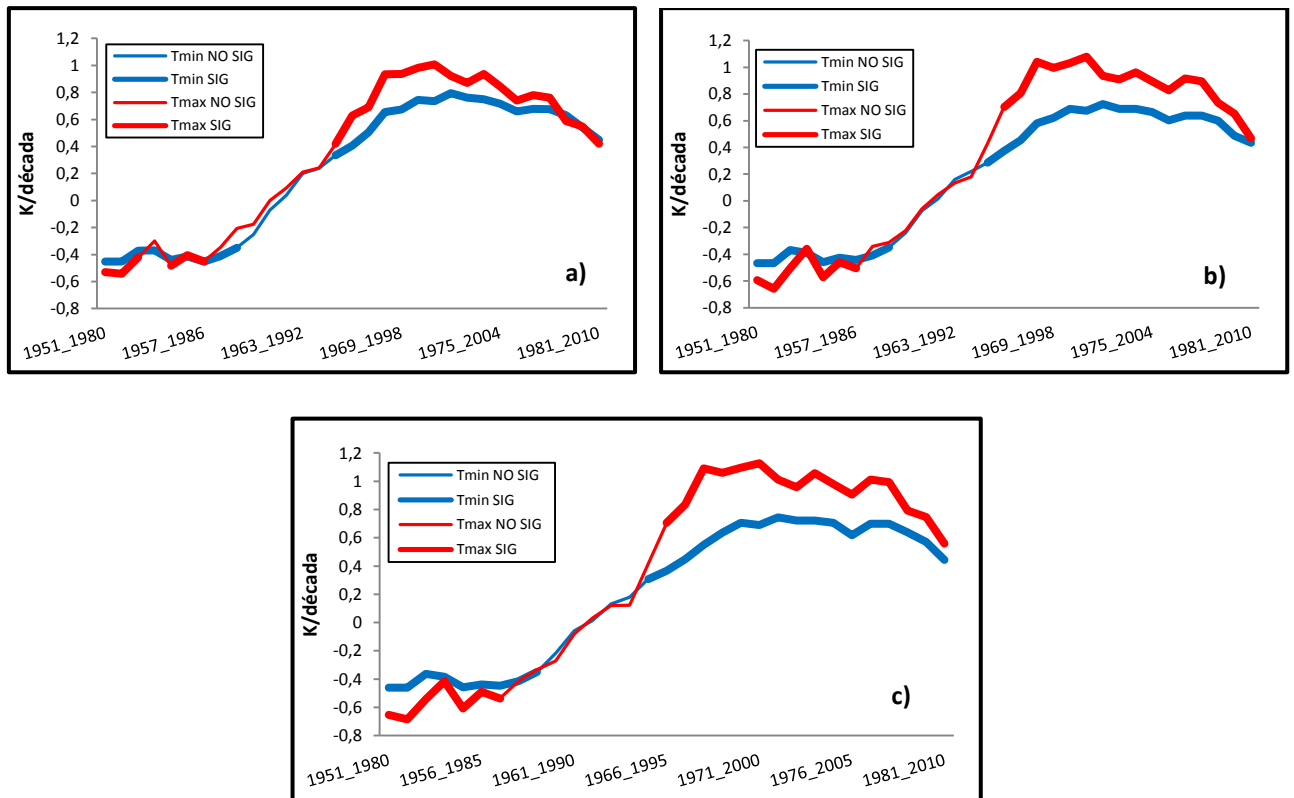


Figura 9. Análisis de tendencias de los valores medios de Tmax y Tmin en periodos móviles de 30 años en la primavera. a) < 400 m, b) 400-1000 m y c) > 1000 m. Las líneas gruesas/finas indican un nivel p 0,05 significativo (no significativo).

3.2.2.3 Verano

La figura 10 nos muestra la evolución de las tasas de Tmax y Tmin en periodos móviles de 30 años en verano. Se puede observar como las tendencias aumentan hasta el periodo 1977-2006 tanto en Tmax como en Tmin. A partir de entonces las tendencias comienzan a disminuir hasta llegar al periodo reciente. La evolución entre los diferentes rangos altitudinales tanto en Tmin como en Tmax, en comparación con invierno y primavera ha sido diferente, aunque no debemos olvidar que la tasa más alta alcanzada aumenta con la altitud en Tmax (tabla 4). En general las tendencias de verano han sido de mayor intensidad que invierno y menor que primavera.

En general, el patrón temporal en la evolución de las tasas de Tmax sugiere un aumento continuado, si bien, al igual que en invierno y primavera, encontramos diferencias destacables. En < 400 m, se detecta un periodo con tendencias positivas no significativo en sus inicios (entre 1951-1980 y 1965-1994) y desde mediados de los años sesenta las tendencias positivas se convierten en significativas y se mantienen hasta el final de la serie, a pesar de reducirse los valores desde el periodo que la tasa es más elevada desde 1977-2006. En 400-1000 m, a excepción de la inclusión de un periodo significativo y positivo muy corto y la eliminación desde el periodo 1977-2006 de tendencias significativas, se observa el mismo patrón, y su tasa de máximo calentamiento significativa es superior al intervalo < 400 m. En > 1000 m podemos apreciar que se mantiene una similar evolución en las tendencias. Si en 400-1000 m

habían aumentado las tasas del periodo prolongado significativo y positivo respecto a < 400 m, en > 1000 m vuelve a suceder lo mismo: la intensidad de la tasa se ha visto incrementada. Las mayores tasas en los distintos rangos altitudinales se produjeron en el mismo periodo (1977-2006).

El análisis de ventanas móviles de la evolución de las tasas de Tmin, de la misma manera que en primavera, detecta periodos no significativos, negativos y positivos y periodos significativos y positivos similares en todos los rangos altitudinales. Desde 1951-1980 hasta 1962-1991 las tendencias no son significativas con valores negativos que finalmente cambian a positivos; desde 1962-1991 hasta 1981-2010 las tendencias son significativas y positivas, al igual que en Tmax. La mayor intensidad de la tasa se localiza en < 400 m, mientras que a medida que ascendemos en altitud las tasas máximas alcanzadas van disminuyendo. Al igual que en Tmax, las mayores tasas para los diferentes rangos altitudinales se produjeron en el mismo periodo (1977-2006).

En el periodo más reciente se puede apreciar por una parte que las tendencias son superiores en Tmin que en Tmax, siendo ambas positivas. Por otra parte, en Tmin las tendencias han sido significativas y descendentes en todos los rangos altitudinales mientras que en Tmax, tanto en el interior peninsular como en zonas montañosas las tendencias no han sido significativas.

En resumen, durante el verano el calentamiento durante la noche ha alcanzado una mayor intensidad en zonas de costa y depresiones interiores. Entre 400-1000 m el calentamiento ha sido bastante homogéneo tanto por el día como por la noche y el calentamiento en zonas de montaña ha sido mayor durante el día (tabla 4). En las décadas finales las tendencias de Tmax no son significativas en el interior y la montaña.

	Tmax		Tmin	
Altitud	Max cal.	Tasa	Max cal.	Tasa
< 400 m	1977-2006	0,700	1977-2006	0,767
400-1000 m	1977-2006	0,734	1977-2006	0,760
> 1000 m	1977-2006	0,793	1977-2006	0,753

Tabla 4. Periodos de máximo calentamiento y sus correspondientes tasas sobre ventanas móviles de 30 años en los distintos rangos altimétricos, Tmax y Tmin promedio de verano. Valores significativos en negrita ($p < 0.05$)

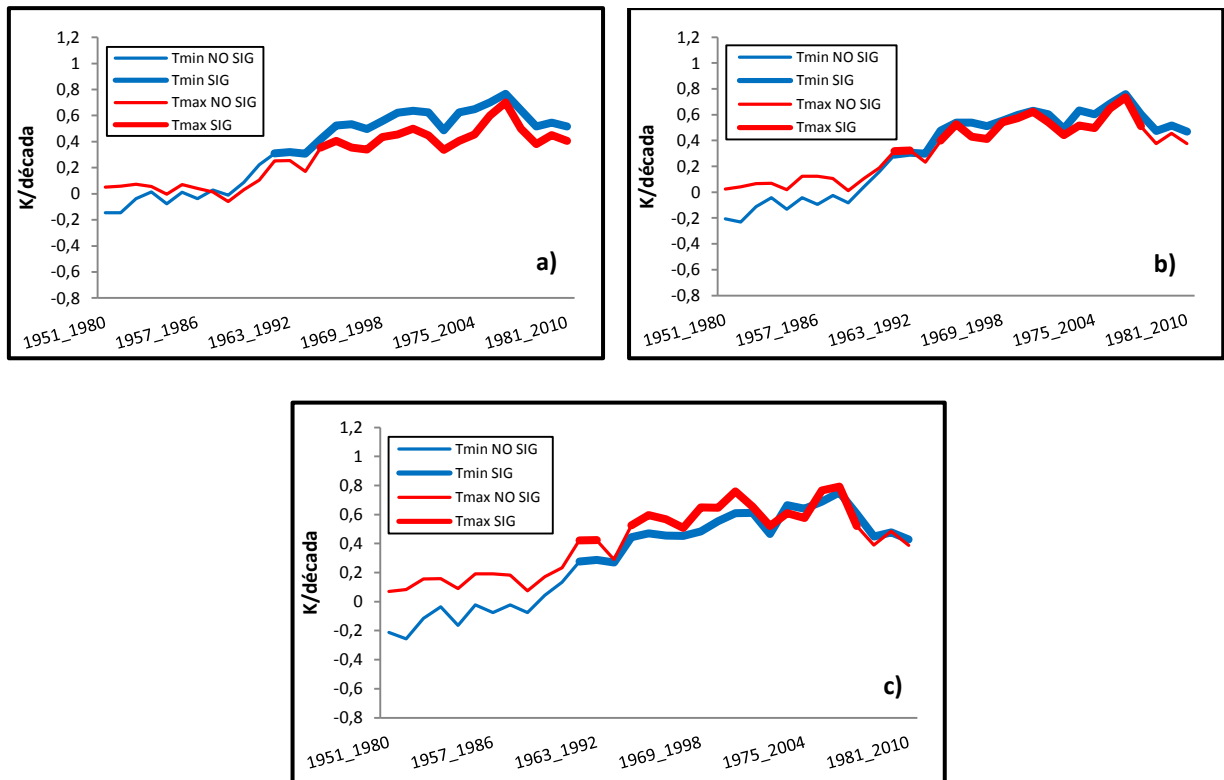


Figura 10. Análisis de tendencias de los valores medios de Tmax y Tmin en periodos móviles de 30 años en el verano. a) < 400 m, b) 400-1000 m y c) > 1000 m. Las líneas gruesas/finas indican un nivel $p < 0,05$ significativo (no significativo).

3.2.2.4 Otoño

Las tendencias de temperatura media de Tmax y Tmin de la estación de otoño en periodos móviles de 30 años se pueden observar en la figura 11. Se observa que las tendencias aumentan hasta 1959-1988 en Tmax y hasta 1969-1988 en Tmin. A partir de dichos periodos las tendencias comienzan a descender hasta llegar al presente. La evolución que han tenido éstas ha sido muy similar en todos los rangos altitudinales, aunque no debemos olvidar que en Tmax, a medida que ha aumentado la altitud, la tasa ha ido incrementándose (tabla 5). En comparación con las tres estaciones estudiadas anteriormente, el calentamiento de otoño presenta una tasa mayor que invierno y menor que primavera y verano, si bien en la mayor parte de las ventanas analizadas las tendencias no han sido significativas en Tmax (ver más adelante estudio de ventanas de menor duración).

La evolución de las tasas de Tmax en < 400 m nos señala un periodo que comienza con tendencias cercanas a 0 (1951-1980) y que ve incrementada su tasa hasta el periodo 1959-1988. A excepción del comienzo de la serie con tendencias negativas, por lo demás han sido positivas y no significativas, hasta llegar al periodo mencionado (1959-1988, con la tasa más elevada), con un intervalo muy corto de tiempo (hasta 1960-1989) con tendencias negativas pero significativas. A partir de entonces las tendencias continúan siendo negativas pero no significativas. Entre 400-1000 m se puede presenciar una misma evolución de las tendencias. Aún y todo, la intensidad de la

tasa aumenta en las tendencias de todo el rango altitudinal. En > 1000 m nos encontramos con la misma tónica dominante. Al igual que pasara con 400-1000 m, en este caso la tasa ve incrementada su intensidad en este rango altitudinal con respecto a 400-1000 m. En la Tabla 5 se muestran los periodos de máximo calentamiento por altitudes y su tasa, todos ellos correspondientes al mismo periodo (1959-1988).

El estudio de la evolución de las tasas de Tmin permite apreciar que la significación se detecta en las ventanas centrales del periodo analizado. Entre 400-1000 m el periodo es más prolongado que en < 400 m (hasta 1960-1989) e idéntico que en > 1000 m. Además, en < 400 m podemos apreciar una tendencia significativa y positiva ininterrumpida, al igual que en > 1000 m, aunque en este último rango altitudinal lleva 2-3 años de adelanto. En cambio, entre 400-1000 m la tendencia significativa positiva se ve interrumpida por un periodo con tendencias no significativas, que también son positivas. Al igual que en Tmax, las mayores tasas en los diferentes rangos altitudinales se produjeron en el mismo periodo (1969-1998).

En el periodo más reciente las tendencias han sido superiores en Tmin que en Tmax en todos los rangos altitudinales, siendo en ambas descendentes, negativas y no significativas. Este hecho es más acentuado en Tmax.

En resumen, hasta 1962-1991 la intensidad de la tasa fue superior en Tmax que Tmin si bien no fue significativa, y viceversa desde entonces; las tendencias de Tmin han sido mucho más tiempo significativas que las de Tmax; de hecho el calentamiento de otoño de las décadas más recientes solamente puede atribuirse a Tmin por no ser significativa la tasa de Tmax. En general las tasas descienden en las décadas recientes, teniendo valores negativos tanto en Tmin como en Tmax (más acentuados), aunque no significativos. En otoño el aumento de temperaturas se ha producido sobre todo durante la noche en todos los rangos altitudinales, teniendo más intensidad en el interior peninsular (tabla 5).

Altitud	Tmax		Tmin	
	Max cal.	Tasa	Max cal.	Tasa
< 400 m	1959-1988	0,498	1969-1998	0,565
400-1000 m	1959-1988	0,625	1969-1998	0,606
> 1000 m	1959-1988	0,696	1969-1998	0,587

Tabla 5. Periodos de máximo calentamiento y sus correspondientes tasas sobre ventanas móviles de 30 años en los distintos rangos altimétricos, Tmax y Tmin promedio de otoño. Valores significativos en negrita ($p < 0.05$)

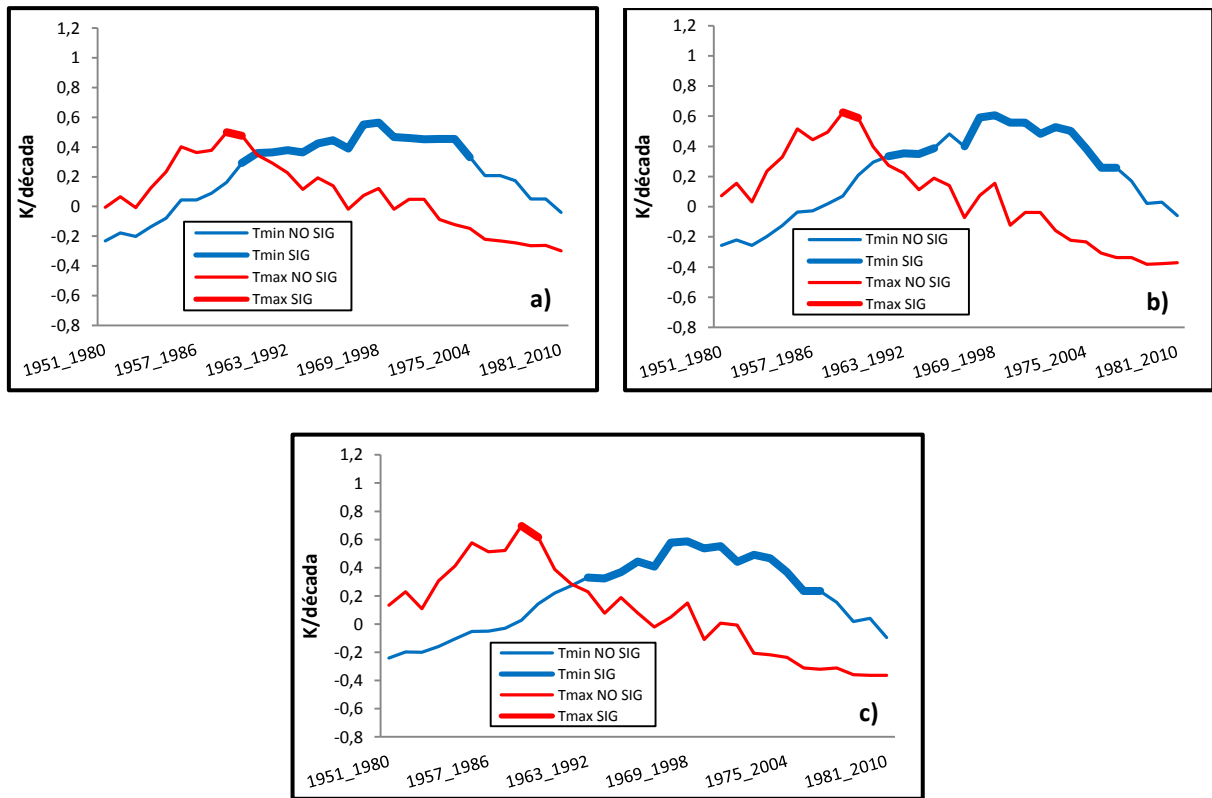


Figura 11. Análisis de tendencias de los valores medios de Tmax y Tmin en periodos móviles de 30 años en el otoño. a) < 400 m, b) 400-1000 m y c) > 1000 m. Las líneas gruesas/finas indican un nivel $p < 0,05$ significativo (no significativo).

3.3 El efecto de la longitud del periodo en la tendencia

La figura 12 muestra las tendencias de la media anual de Tmax y Tmin en ventanas móviles en intervalos decrecientes entre 60 (1951-2010 el periodo completo) y 20 años, (1991-2010) en los tres rangos altitudinales. La figura muestra resultados que quedan ocultos en el análisis previo de treintenas. Así, la evolución de las tendencias anuales en Tmin muestra valores superiores a Tmax en zonas de costa y en las dos mesetas desde hace décadas, aunque en estas últimas en menor medida, mientras en montaña las diferencias solamente se aprecian en los periodos finales. En los tres intervalos altitudinales la intensidad de la tasas disminuyó en particular desde mediados de la década de 1970 y desde 1984 hasta 2010 no hay ventanas móviles que tengan una tendencia significativa en el tiempo, en Tmin y desde 1979 en Tmax.

En la evolución general se puede apreciar dos periodos diferentes, caracterizados por un incremento y una disminución en la intensidad de la tasa de calentamiento tanto en Tmax como en Tmin en todos los rangos altitudinales. En el intervalo < 400 m, la tasa de calentamiento en Tmin fue mayor que en Tmax a lo largo de todo el periodo. Esto significa que la media anual de Tmin aumentó más rápido que la de Tmax. Por otra parte, la tendencia media anual de los valores de Tmax no es significativa durante las últimas décadas. Es decir, durante las últimas décadas, la tendencia de la temperatura

media anual de las costas y depresión del Ebro parece estar más relacionada con la noche en vez de con el día. Por lo que respecta al intervalo 400-1000 m, hasta el periodo 1968-2010 la tasa de calentamiento fue muy similar en Tmin y Tmax, con escasas diferencias entre ambas. A partir de ese periodo el calentamiento fue mayor en Tmin. Al igual que en < 400 m, la tendencia media anual de los valores de Tmax no ha sido significativa durante las décadas finales. Esto nos sugiere, que durante las últimas décadas la tendencia de la temperatura media anual de las mesetas de la España peninsular estuvo relacionada principalmente con la noche en vez de con el día, aunque la diferencia con las costas y mesetas ha disminuido. En alturas > 1000 m, hasta el periodo 1972-2010 la tasa de calentamiento fue mayor en Tmax que en Tmin y a partir de ese periodo el calentamiento fue mayor en Tmin. Esto significa que la media anual de Tmax aumentó más rápido que la de Tmin hasta 1972-2010 y viceversa posteriormente.

En resumen, el estudio en ventanas móviles decrecientes de los promedios de Tmax y Tmin aporta una información “escondida” en las ventanas de 30 años anteriormente presentadas (de hecho esta ventana es uno de los periodo analizados en este capítulo), que ponen en un contexto más amplio dichos resultados. En general se detecta que a medida que nos acercamos al final del siglo XX inicios del XXI las tasas promedio anuales de Tmin han superado las de Tmax, y han dejado de ser significativas sugiriendo la existencia del denominado hiato.

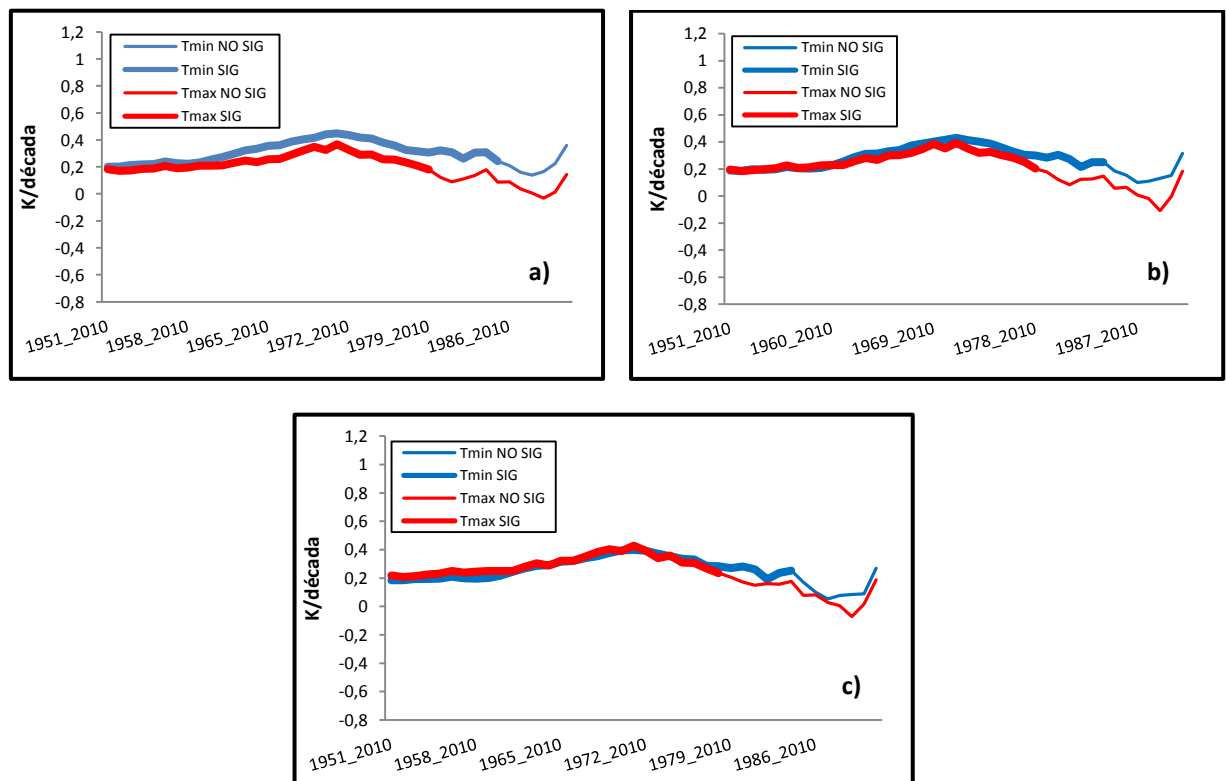


Figura 12. Análisis de tendencias de la media anual de Tmax y Tmin. Ventanas móviles decrecientes desde 1951-2010 hasta 1991-2010 (60 a 20 años). a) < 400 m, b) 400-1000 m y c) > 1000 m. Las líneas gruesas/finas indican un nivel $p < 0,05$ significativo (no significativo).

Altitud	Tmax		Tmin	
	Max cal.	Tasa	Max cal.	Tasa
< 400 m	1971-2010	0,367	1971-2010	0,449
400-1000 m	1971-2010	0,392	1971-2010	0,431
> 1000 m	1971-2010	0,428	1971-2010	0,399

Tabla 6. Periodos de máximo calentamiento y sus correspondientes tasas sobre un progresivo descenso de las ventanas móviles desde 1951-2010 hasta 1991-2010 (60 a 20 años) en los distintos rangos altimétricos, Tmax y Tmin promedio anual. Valores significativos en negrita ($p < 0.05$)

3.4 El periodo más reciente

Los descensos observados de las tasas en primavera y verano en las treintenas finales junto a los resultados del apartado anterior enfocado a analizar el efecto de la reducción de la ventana en periodos decrecientes sugieren reducir la longitud del periodo sometido a análisis de tendencias pues el análisis presentado hasta el momento se basa en periodos de 30 años que son demasiado extensos. No obstante estas ventanas nos han permitido identificar diferencias entre Tmax y Tmin, así como entre rangos altitudinales. Sin embargo se necesita reducir la longitud de la ventana de análisis para poder concluir si el parón denominado hiato se puede o no detectar en diferentes rangos altitudinales.

Lo más llamativo al reducir la amplitud de las ventanas móviles es que las tasas de máximo calentamiento aumentan en cada rango altitudinal tanto en Tmax como en Tmin. Como ya se ha comentado, en periodos de 30 años las tasas de mayor calentamiento se han detectado en primavera en Tmax (principalmente en zonas de montaña) y verano (en zonas de montaña en Tmax y en zonas de costa en Tmin) y en menor medida en invierno y otoño en Tmax en zonas de montaña (tabla 7).

Altitud	Invierno		Primavera		Verano		Otoño		Anual	
	Tasa (°C/década)		Tasa (°C/década)		Tasa (°C/década)		Tasa (°C/década)		Tasa (°C/década)	
	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin
< 400 m	0,480	0,417	1,007	0,795	0,700	0,767	0,498	0,565	0,561	0,605
400-1000 m	0,589	0,477	1,080	0,725	0,734	0,760	0,625	0,606	0,632	0,609
> 1000 m	0,681	0,469	1,126	0,744	0,793	0,753	0,696	0,587	0,677	0,561

Tabla 7. Máximos calentamientos sobre ventanas móviles de 30 años en los distintos rangos altimétricos. Valores significativos en negrita ($p < 0.05$)

En periodos de 25 años, las tasas han aumentado en todas las estaciones. Primavera sigue siendo la estación con las mayores tasas en Tmax en zonas de montaña, siguiéndole de cerca verano con el mismo patrón observado. Al acotar el periodo a 25 años se ha reflejado un gran cambio respecto al periodo de 30 años. Y es que otoño ha tenido los mayores aumentos de temperatura en Tmin, siendo su tasa la más alta (en mesetas). Además, su temperatura máxima también se ha visto incrementada de manera notoria. En lo que concierne a invierno, ha sido la estación que apenas ha sufrido cambios en sus temperaturas (tabla 8).

	Invierno		Primavera		Verano		Otoño		Anual	
	Tasa (°C/década)		Tasa (°C/década)		Tasa (°C/década)		Tasa (°C/década)		Tasa (°C/década)	
Altitud	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin
< 400 m	0,477	0,537	1,138	0,795	0,721	0,782	0,747	0,826	0,729	0,685
400-1000 m	0,626	0,488	1,219	0,743	0,993	0,767	0,811	0,890	0,830	0,700
> 1000 m	0,695	0,510	1,306	0,759	1,102	0,771	0,849	0,849	0,853	0,662

Tabla 8. Máximos calentamientos sobre ventanas móviles de 25 años en los distintos rangos altimétricos. Valores significativos en negrita ($p < 0.05$)

En periodos de 20 años las tasas continúan aumentando en todas las estaciones. Al igual que sucedía en periodos de 30 y 25 años, primavera sigue teniendo las tasas más altas en Tmax (zonas de montaña). En este caso no es verano la segunda estación con los aumentos más significativos en las máximas. Otoño, que empezaba a tener protagonismo en periodos de 25 años, continúa de la misma manera en periodos de 20 años. Ha tenido incrementos en Tmax muy importantes (en mesetas y zonas montañosas) y sigue siendo la estación con las mayores tasas en Tmin en mesetas. A lo largo del trabajo, invierno había sido la estación que apenas había sufrido cambios importantes en sus temperaturas. Sin embargo, en periodos de 20 años ha tenido unos máximos elevados aunque no significativos, especialmente en Tmin en zonas montañosas (tabla 9).

En definitiva, al ir acotando el periodo de 30 años a 25 años y posteriormente a 20 años, las tasas de máximo aumento de las temperaturas se han visto incrementadas en todas las estaciones. Las temperaturas máximas de primavera en zonas de montaña en Tmax han sufrido un calentamiento que ronda el 1°C/década. Al igual que en primavera, en otoño las tasas han aumentado en periodos de 20 años respecto de 30 años tanto en Tmax como en Tmin, con incrementos de entre 0,6°C-0,7°C/década. Lo mismo sucede con el invierno, que ha tenido aumentos de 0,7°C/década en Tmin en zonas montañosas. Verano ha sido la estación que presenta una menor tasa de máximo calentamiento.

	Invierno		Primavera		Verano		Otoño		Anual	
	Tasa (°C/década)		Tasa (°C/década)		Tasa (°C/década)		Tasa (°C/década)		Tasa (°C/década)	
Altitud	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin
< 400 m	0,873	0,763	1,524	0,962	0,794	0,905	1,030	1,157	0,947	0,890
400-1000 m	1,002	0,939	1,839	0,935	1,063	0,965	1,268	1,263	1,128	0,911
> 1000 m	0,891	1,101	2,017	0,937	1,223	0,933	1,306	1,184	1,135	0,881

Tabla 9. Máximos calentamientos sobre ventanas móviles de 20 años en los distintos rangos altimétricos. Valores significativos en negrita ($p < 0.05$)

La figura 13 presenta la evolución de promedios anuales de Tmax y Tmin por intervalos de altitud, y nos permite concluir que, en ventanas móviles de 20 años, el parón denominado hiato se detecta en todos los rangos altitudinales, tanto en Tmax como Tmin durante las décadas finales del siglo XX y comienzos del siglo XXI. Si echamos la vista atrás, más concretamente a la figura 7, se observaba que el periodo reciente además de tener sus tasas en continuo descenso, seguían siendo significativas

en Tmin. En este caso, además de confirmar el ya mencionado hiato podemos añadir una nueva información: las tendencias dejan de ser significativas por un largo periodo de tiempo tanto en Tmax como en Tmin.

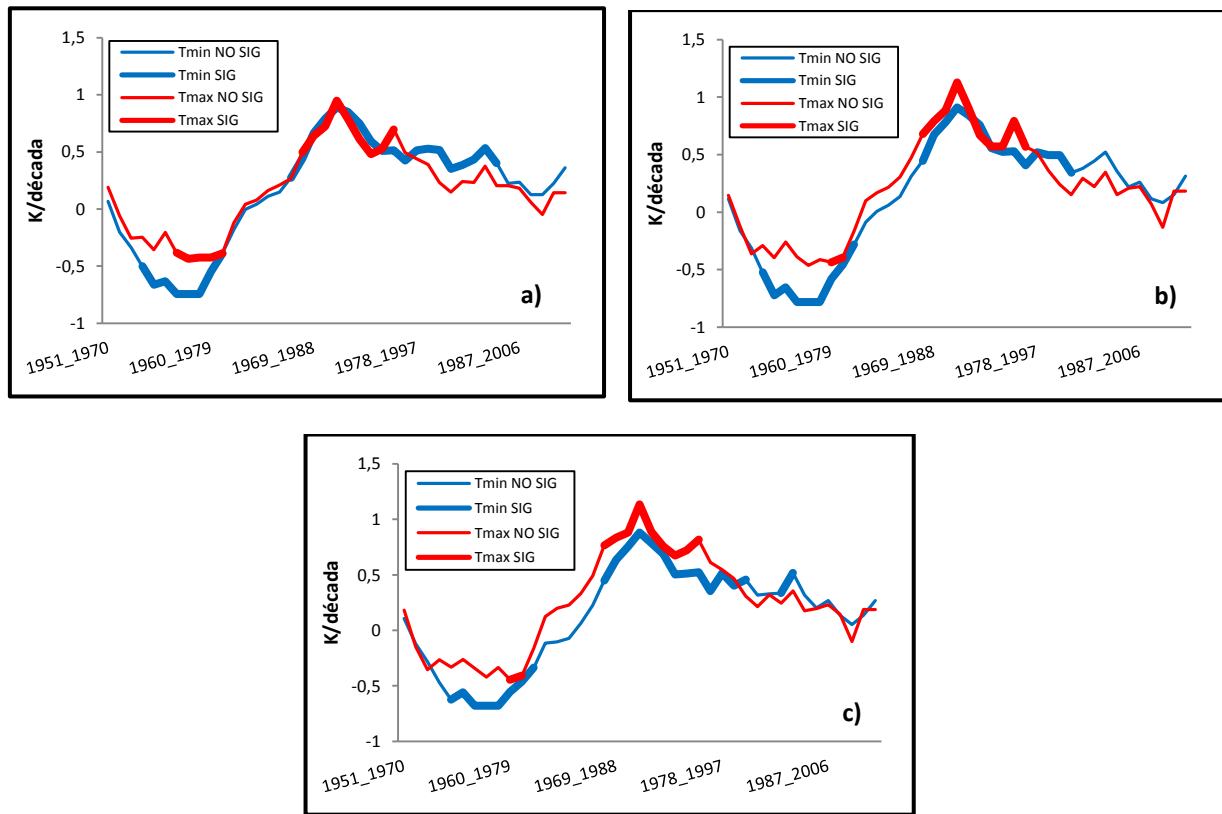


Figura 13. Análisis de tendencias de los valores medios anuales de Tmax y Tmin en periodos móviles de 20 años. a) < 400 m, b) 400-1000 m y c) > 1000 m. Las líneas gruesas/finas indican un nivel p 0,05 significativo (no significativo).

4. DISCUSIÓN

4.1 Evolución de las tendencias de temperatura

Las previsiones de los modelos regionales para el periodo 2071-2100 con respecto a 1961-1990, sugieren que las temperaturas en invierno se verán aumentadas $3/4^{\circ}\text{C}$ en la mitad oriental peninsular, en primavera los incrementos serían de $4/5^{\circ}\text{C}$ en el suroeste peninsular, en verano de $5/7^{\circ}\text{C}$ en el interior y en otoño incrementos de $4-5^{\circ}\text{C}$ en la mitad oriental (de Castro et al., 2005). Sin embargo, los resultados mostrados en el presente estudio sugieren que durante las últimas décadas el aumento de la temperatura parece haberse detenido, mientras que la concentración de CO_2 ha aumentado continuamente. Este es el punto de comienzo del reciente debate sobre el calentamiento global, cuya explicación puede estar en la variabilidad natural, el forzamiento solar, los aerosoles y la interacción del mar por el efecto de El Niño (Oscilación del Sur). Por otra parte, en la actualidad, el hiato no ha sido claramente identificado en numerosos modelos de simulación (Stocker et al., 2013)

El análisis de tendencias realizado en el presente estudio detecta el hiato en España y lo detecta en diferentes rangos altitudinales si bien con ligeras diferencias. Además, el estudio constató diferencias estacionales del comportamiento de T_{max} y T_{min} en los tres rangos altitudinales. En general, las tasas anuales y estacionales de T_{max} y T_{min} siguen siendo positivas, pero han dejado de ser significativas en los últimos decenios, teniendo incluso tendencias con valores negativos en otoño e invierno en todos los rangos altitudinales, tanto para máximas como para mínimas. En conclusión, el hiato térmico ha sido detectado en la Península Ibérica. Fyfe et al (2013) han indicado la aparición temprana del hiato mientras que otros autores fechan su inicio alrededor del año 2000. Nuestros resultados muestran que la desaceleración en la tendencia de la temperatura en todos los rangos altitudinales de la España peninsular comenzó a partir de la década de 1990. Siguiendo el razonamiento global de las investigaciones que se han centrado en la explicación de hiato, la ralentización de las tendencias de temperatura en la España peninsular estaría sobre todo originada por el parón de T_{max} .

Las tasas de temperatura de la España peninsular que hemos identificado son muy altas (primavera en particular en todos los rangos altitudinales). Son aún mayores al acotar el periodo de 30 años a 20 años. Estos resultados se asemejan con estudios previos realizados en España para el mismo periodo (Brunet et al., 2006, 2007; del Río et al., 2011, 2012) que informaron de que las tasas de calentamiento en la España peninsular estaban entre las más altas del mundo. Sin embargo, los años más recientes no fueron incluidos en el análisis, y por lo tanto, las publicaciones acerca del hiato han sido escasas (Ríos et al., 2012).

Análisis previos de la España peninsular sugieren que el efecto del invierno en el aumento de la temperatura fue dominante durante el siglo 20. Sin embargo, durante el periodo 1971-2000, Brunet et al (2007) encontraron que la tendencia de la temperatura media anual dependía más de las tasas de verano y primavera de T_{max} . Durante las

últimas décadas los resultados del presente estudio están de acuerdo en parte con esta conclusión (las tasas de calentamiento más altas se encuentran en primavera y verano en todos los rangos altitudinales, aunque en periodos de 25 y 20 años varía la situación), pero hay algunas discrepancias. En el presente PFG hemos encontrado que la tasa de calentamiento en T_{min} ha sido superior a la de T_{max} durante al menos los últimos 30 años, por lo que los procesos de calentamiento parecen ser mucho más controlados por las temperaturas nocturnas (T_{min}) que diurnas (T_{max}) en zonas de costa, depresiones y mesetas. En espacios montañosos las temperaturas mínimas no ejercen el mismo control sobre las temperaturas máximas, hecho que se hace aún más visible en periodos de 25 y 20 años, no solamente en zonas montañosas, también en costas, depresiones y mesetas. En lo que se refiere al presente estudio, los análisis de tendencia indican que en la España peninsular el máximo calentamiento se concentró durante los años 1971-2010 y después la tasa de calentamiento comenzó a disminuir. Este patrón fue observado de manera similar en todos los rangos altitudinales, aunque en verano el máximo calentamiento se produjo más tarde (1977-2006). En la actualidad, las tendencias son positivas a excepción de otoño (son negativas de forma más acusada en T_{max}) e invierno (negativas en T_{max}). La realidad es que en los últimos 30 años las tendencias no han sido significativas en las escalas anuales y estacionales. Hasta donde sabemos, estos hallazgos para la España peninsular son nuevos y ofrecen un reto para las proyecciones por altitudes de modelos regionales de este territorio. El análisis de ventanas móviles de menor longitud incluso permite precisar que el periodo de máximo calentamiento se localiza en veinte años a lo largo de las décadas de los 70 y 90.

4.2 El diferente comportamiento de T_{max} y T_{min}

Los estudios climáticos regionales han mostrado diferencias espaciales en la evolución de los elementos del clima (radiación atmosférica, nubosidad, vapor de agua) que se han atribuido a diversos controles que actúan sobre el calentamiento. En general se acepta que la temperatura de la superficie diurna (T_{max}) se debe principalmente a la radiación solar de la superficie modulada por la cobertura de nubes y la cantidad de calor liberado por el calor latente de evaporación de la humedad del suelo (Lauritsen y Rogers, 2012). Lo que no está tan claro es el comportamiento de la temperatura durante la noche debido los registros de temperatura se refieren a una capa de la atmósfera muy fina cerca de la tierra (Pielke et al., 2007), en donde los flujos de calor latente pueden ser modificados por el efecto de los factores locales (Klotzbach et al., 2009).

Durante el siglo 20 se ha detectado una tendencia negativa en la amplitud térmica, es decir ($T_{min} > T_{max}$). Esta situación también se ha notado en España. La tendencia de la amplitud en la España peninsular varía desde 1951 hasta 2010 y es cada vez más negativa durante las últimas décadas, sobre todo desde 1980 hasta 2010 en todos los rangos altitudinales aunque siendo principalmente más destacada en zonas de costa.

Hay varias razones que se han atribuido a la tendencia negativa de las temperaturas diurnas. Cabe destacar que las estaciones de baja calidad por lo general exageran la tendencia de T_{min} por efectos locales, mientras que las tendencias en T_{max}

pueden reducirse (Fall et al., 2011). Esto no parece ser el caso de MOTEDAS, con controles de calidad aplicados. Una explicación más plausible debería ir acompañada de los efectos de diferentes factores sobre la variabilidad de T_{max} y T_{min} , los cuales serán discutidos brevemente utilizando la información disponible para el territorio peninsular.

En estudios recientes sobre la Península Ibérica, Philipona et al (2005) notaron un proceso de enfriamiento de la temperatura media (excepto las regiones del sureste) entre 1995 y 2004. Mientras tanto, se observó un fuerte gradiente decreciente en la humedad específica de oeste a este de Europa, de acuerdo con el principal argumento de los autores, que consideran que la ausencia de vapor atmosférico actuando como gases de efecto invernadero podría ser una de las razones más fiables para el enfriamiento de la España peninsular. Vicente-Serrano et al (2014A, 2014b) sugirieron que el aumento de la evapotranspiración potencial y de la capacidad de retención de agua de la atmósfera como consecuencia del calentamiento no se han acompañado de un incremento en el contenido de vapor de agua atmosférico, viéndose éste limitado por la circulación atmosférica o la temperatura de la superficie del mar. Esta falta de vapor de agua disponible podría ser una de las consecuencias del aumento de las horas de sol durante las últimas décadas en la España peninsular y la disminución de la nubosidad (Sánchez-Lorenzo et al., 2012). Como consecuencia de todo ello, no hay cambios ni en la humedad específica ni en la precipitación. Por lo tanto, el vapor de agua atmosférico a baja altura sobre la España peninsular podría ser una de las razones de la desaceleración de la tendencia positiva de T_{max} en los últimos decenios.

La evolución de T_{min} no parece ser apoyada por el mismo argumento, ya que el aumento de T_{max} se ha asociado con los valores más altos de humedad del aire (Philipona et al., 2005). En este sentido, T_{min} se vería afectada por factores locales. Este resultado está de acuerdo con lo señalado por Peña-Angulo et al (2014), quien encontró coherencia espacial más baja en T_{min} que en T_{max} . En la España peninsular se produjeron cambios drásticos en el uso del suelo relacionados con el riego (Stellmes et al., 2013), las infraestructuras, la urbanización y los incendios forestales (Enríquez y Del Moral, 2012) desde mediados de la década de 1970 hasta la actualidad. A nivel mundial, los cambios masivos en el uso del suelo en la España peninsular durante los últimos 30 años son consistentes con los factores que pueden causar el aumento de T_{min} , teniendo en cuenta que las zonas de riego representan un aumento del 50% entre 1961 y 2011, un hecho que es muy importante debido a que dos tercios de calentamiento se han atribuido a los efectos de T_{min} . Estos cambios se han detectado previamente como localmente intensos en las zonas de riego, donde el agua del suelo a través de la evaporación puede modificar los flujos de calor latente y la liberación ralentiza el aumento de T_{max} en las estaciones cálidas y secas, mientras que aumenta T_{min} local (Dai et al., 1999). Un segundo cambio dramático se ha relacionado con la urbanización, que es objeto de debate específico. Karl et al (1988) sugirieron que la urbanización en los Estados Unidos disminuyó T_{max} en todas las estaciones excepto en invierno, mientras que aumentó T_{min} en todas las estaciones. Kalnay y Cai (2003) sugirieron que el 50% del calentamiento total es debido a la urbanización. La

urbanización y la construcción de infraestructuras durante las dos últimas décadas en la España peninsular han sido espectaculares, sobre todo en las zonas del este y zonas costeras, así como en el interior de cualquier ciudad como consecuencia de los cambios dramáticos en la distribución espacial de la población, en particular durante los últimos 30 años (Calvo et al., 2008; Zúñiga et al., 2012). Esto generalmente corresponde al mayor incremento de la tasa en T_{min} respecto a T_{max} .

En resumen, en la España peninsular la tendencia de T_{min} parece que pudiera estar siendo afectada por factores locales en todos los rangos altitudinales (y en mayor medida en primavera y en verano), una cuestión climática clave que está en fase de investigación por los autores en la actualidad, aunque es cierto que la reciente desaceleración en las tasas de calentamiento tanto en T_{max} como en T_{min} parece estar lejos de ser entendida por completo y muchas preguntas continúan sin ser resueltas, y entre otras la posibilidad de investigar las futuras proyecciones de modelos por rangos altitudinales.

5. CONCLUSIONES

El análisis de la evolución de las tendencias de temperatura en la España peninsular durante la segunda mitad del siglo XX, y en tres intervalos altitudinales, identifica un máximo calentamiento producido aproximadamente entre 1970 y 1990, que ha afectado de modo bastante semejante a todo el territorio con independencia de la altitud.

Las tendencias de la temperatura media anual de T_{max} y T_{min} no son estadísticamente significativas desde comienzos de 1980 en T_{max} y desde mediados de 1980 hasta la fecha en T_{min} , siendo las tendencias de T_{min} más altas que las de T_{max} en todos los rangos altitudinales. Como resultado de ello, el calentamiento reciente depende más de las temperaturas nocturnas que diurnas durante al menos las últimas dos décadas. Las tendencias más altas de T_{min} se localizan en zonas de costa y depresiones. En menor medida en las mesetas y en zonas de montaña las tendencias tanto de T_{min} como de T_{max} se asemejan bastante, pero en este caso el mayor calentamiento lo encontramos en las máximas.

Los análisis estacionales han detectado un comportamiento diferente entre las estaciones y entre los rangos altitudinales, tanto en T_{max} como en T_{min} . El máximo calentamiento en periodo de 30 años en T_{max} ha sido superior en primavera en zonas de montaña; la evolución de las tendencias de T_{max} y de T_{min} durante la primavera en periodos de 30 años sugiere que al aumentar la altitud, la diferencia entre T_{max} y de T_{min} ha sido superior por efecto de T_{max} . En T_{min} el máximo calentamiento se ha producido en primavera y en verano en zonas de costa; la evolución de sus tendencias es diferente a la de primavera, especialmente por el aumento de las mínimas respecto de las máximas en las zonas costeras. Debemos tener mucha cautela con las zonas de montaña, ya que a partir de 2.000 m la información es escasa, con lo que no hay muchos datos originales que refuten que el mayor aumento térmico se de en estas zonas.

Las contribuciones estacionales al calentamiento anual, es decir, las mayores tasas de calentamiento por estaciones en periodos de 30 años, dependen sobre todo de primavera y en menor medida de verano. En periodos de 25 y de 20 años la situación varía; en invierno y principalmente en otoño el máximo calentamiento aumenta de una manera muy considerable con respecto a verano en determinados momentos.

El análisis en diferentes ventanas temporales de 30 a 20 años junto con el estudio de las ventanas temporales decreciente indican que en las últimas décadas la mayoría de las tendencias estacionales y anuales no han sido significativas. Estos resultados permiten detectar el hiato térmico que comenzó hacia 1990, es decir, diez años antes de lo señalado en otras investigaciones, de modo que se sugiere investigar sus causas en la España peninsular, que podrían relacionarse con cambios en la nubosidad, el uso del suelo y la humedad del suelo entre otros factores.

Por último, esta investigación demuestra que las tendencias están muy afectadas por el comienzo o el final del año seleccionado y la duración del periodo analizado.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Brunet M., Saladie, O., Jones, P., Sigro, J., Aguilar, E., Moberg, A., Lister, D., Walther, A., Lopez, D., Almarza, C. (2006). The development of a new dataset of Spanish daily adjusted temperature series (SDATS) (1850-2003), *International Journal of Climatology*, 26, 1777-1802.
- Brunet, M., Jones, P., Sigro, J., Saladie, O., Aguilar, E., Moberg, A., Della-Marta, P.M., Lister, D., Walther, A., Lopez, D. (2007). Temporal and spatial temperature variability and change over Spain during 1850-2005, *Journal of Geophysical Research*, 112, D12117.
- Calvo, J.L., Pueyo, A., Zúñiga, M. (2008). La réorganisation spatiale de peuplement en Espagne entre 1900 et 2007, Sud-Ouest Européen, *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, 26, 7-41.
- De Castro, M., Martín-Vide, J., Alonso, S. (2005). El clima de España: pasado, presente y escenarios de clima para el siglo XXI, *Proyecto ECCE-INFORME FINAL*, 64 p.
- Chen, X., Tung, K.K. (2014). Varying planetary heat sink led to global-warming slowdown and acceleration, *Science*, 345, 897-903.
- Cohen, J.L., Furtado, J.C., Barlow, M., Alexeev, V.A., Cherry, J.E. (2013). Asymmetric seasonal temperature trends, *Geophysical Research Letters*, 39, doi: 10.1029/2011GL050582.
- Cuadrat, J.M., Fernanda-Pita, M^a. (2011). CLIMATOLOGÍA, *cátedra*, 496 p.
- Dai, A., Trenberth, K.E., Karl, T. (1999). Effects of clouds, soil moisture, precipitation, and water vapour on diurnal temperature range, *Journal of Climate*, 12, 2451-2473.
- Easterling, D.R., Wehner, M.F. (2009). Is the climate warming o cooling? *Geophysical Research Letters*, 36, doi: 10.1029/2009GL037810.
- Enríquez, E., Del Moral, L. (2012). Los Incendios Forestales en España. Decenio 2001-2010, *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente*, Madrid.
- Fall, S., Watts, A., Nielsen-Gammon, J., Jones, E., Niyogi, D., Christy, J.R., Pielke, R.A Sr. (2011). Analysis of the impacts of station exposure on the US Historical Climatology Network temperatures and temperature trends. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 116, doi: 10.1029/2010JDO15146.
- Fyfe, J.C., Gillett, N.P., Zwiers, F.W. (2013). Overestimated global warming over the past 20 years, *National Climatic Change*, 3, 767-769.
- Gadgil, A., Dhorde, A. (2005). Temperature trends in twentieth century at Pune, India, *Atmospheric Environment*, 39, 6550-6556.
- García-Legaz, C., Valero, F. (2013). Fenómenos meteorológicos adversos en España, *World Climate Research Programme*, 373 p.
- González-Hidalgo, J.C., Peña-Angulo, D., Brunetti, M., Cortesi, N. (2015). A new monthly temperature database for mainland Spain and the trend in temperature (1951-2010), *International Journal of Climatology*, doi: 10.1002/joc.4298.

- González-Hidalgo, J.C., Peña-Angulo, D., Brunetti, M., Cortesi, N. (2015). Recent trend in temperature evolution in Spanish mainland (1951–2010): from warming to hiatus, *International Journal of Climatology*, doi: 10.1002/joc.4519.
- Kalnay, E., Cai, M. (2003). The impact of urbanization and land-use change on climate, *Nature*, 423, 528 – 531.
- Karl, T.R., Diaz, H.F., Kukla, G. (1988). Urbanization: its detection and effects in the United States climate records, *Journal of Climate*, 1, 1099-1123.
- Karl, T.R., Arguez, A., Huang, B., Lawrimore, J.H., McMahon, J.R., Menne, M.J., Peterson, T.C., Vose, R.S., Zhang, H.M. (2015). Possible artifacts of data biases in the recent global surface warming hiatus, *Science*, 348, 1469-1472.
- Kaufmann, R.K., Kauppi, H., Mann, M.L., Stock, J.H. (2011). Reconciling anthropogenic climate change with observed temperature 1998-2008, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the U.S.A*, 108, 11790-11793.
- Klotzbach, P.J., Pielke, R.A Sr., Pielke, R.A Jr., Christy, J.R., McNider, R.T. (2009). An alternative explanation for differential temperature trends at the surface and the lower troposphere, *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 114, doi: 10.1029/2009JD011841.
- Kosaka, Y., Xie, S.P. (2013). Recent global-warming hiatus tied to equatorial Pacific surface cooling, *Nature*, 501, 403-407.
- Lauritsen, R.G., Rogers, J.C. (2012). U.S. diurnal temperature range variability and regional causal mechanisms, 1901-2002, *Journal of Climate*, 25, 7216-7231.
- Martín-Chivelet, J. Cambios climáticos. Una aproximación al sistema Tierra. Madrid: *Ediciones Libertarias*, 1999. 324 p.
- Martín, J.L. (2012). Assessment of global warming on the island of Tenerife, Canary Islands (Spain). Trends in minimum, maximum and mean temperatures since 1944, *Climatic Change*, 114, 343, 355.
- Martínez, M.D., Serra, C., Burgueño, A., Lana, X. (2010). Time trends of daily maximum and minimum temperatures in Catalonia (ne Spain) for the period 1975–2004, *International Journal of Climatology*, 30, 267-290.
- Meehl, G. A. (2015). Decadal climate variability and the early-2000s hiatus, *U.S. Clivar Variations*, 13, 1-6.
- Meehl, G.A., Arblaster, J.M., Fasullo, J.T., Hu, A., Trenberth, K.E. (2011). Model based evidence of deep-ocean heat uptake during surface-temperature hiatus periods, *National Climatic Change*, 1, 360-364.
- Morales, C.G., Ortega, M.T. (2004). Recent trends and temporal behavior of thermal variables in the region of Castilla–León (Spain), *Atmósfera*, 18, 71-90.
- Moratiel, R., Snyder, R.L., Durán, J.M., Tarquis, A.M. (2011). Trends in climatic variables and future reference evapotranspiration in Duero Valley (Spain), *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11, 1795-1805.
- Mountain Research Initiative EDW Working Group (2015). Elevation-dependent warming in mountain regions of the world. *Nature Climate Change* 5, 424-430.

- Peña-Angulo, D., Cortesi, N., Brunetti, M., González-Hidalgo, J.C. (2014). Spatial variability of maximum and minimum monthly temperature in Spain during 1981-2010 evaluated by Correlation Decay Distance (CDD), *Theoretical and Applied Climatology*, 122, 35-45.
- Pérez, F.F., Boscolo, R (eds.). Clima en España: pasado, presente y futuro. Informe de Evaluación del Cambio Climático Regional. [Madrid]: CLIVAR: *Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino: Ministerio de Ciencia e Innovación (MICINN)*, enero 2010. 83 p.
- Philipona, R., Dürr, B., Ohmura, A., Ruckstuhl, C. (2005). Anthropogenic greenhouse forcing and strong water vapour feedback increase temperature in Europe, *Geophysical Research Letters*, 32, doi: 10.1029/2005GL023624.
- Pielke, R.A., Davey, C.A., Niyogi, D., Fall, S., Steinweg-Woods, J., Hubbard, K., Lin, X., Cai, X., Lim, Y.K., Li, H., Nielsen-Gammon, J.N., Gallo, K., Hañe, R., Mahmood, R., Foster, S., McNider, R.T., Blanken, P. (2007). Unresolved issues with the assessment of multidecadal global land Surface temperature trends, *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 112, doi: 10.1029/2006JD008229.
- Piñol, J., Terradas, J., Lloret, F. (1998). Climate warming, wildfire hazard and wildfire occurrence in coastal eastern Spain, *Climatic Change*, 38, 345-357.
- Prieto, L., García-Herrera, R., Díaz, J., Hernández, E., del Teso, T. (2004). Minimum extreme temperatures over Peninsular Spain, *Global and Planetary Change*, 44, 59-71.
- Del Río, S., Herrero, L., Pinto-Gomes, C., Penas, A. (2011). Spatial analysis of mean temperature trends in Spain over the period 1961–2006, *Global and Planetary Change*, 78, 65-75.
- Del Río, S., Cano-Ortiz, A., Herrero, L., Penas, A. (2012). Recent trends in mean maximum and minimum air temperatures over Spain (1921-2006), *Theoretical and Applied Climatology*, (documento en línea).
- Ríos, D., Penas, D., Del Río, S. (2012). Comparative analysis of mean temperature trends in continental Spain over the period 1961-2010, *International Journal of Geobotanical Research*, 2, 41-85.
- Sánchez-Lorenzo, A., Calbó, J., Wild, M. (2012). Increasing cloud cover in the 20th century: review and new findings in Spain, *Climate of the Past*, 8, 1199-1212.
- Serra, C., Burgueño, A., Lana, X. (2001). Analysis of maximum and minimum daily temperatures recorded at Fabra Observatory (Barcelona, NE Spain) in the period 1917–1998, *International Journal of Climatology*, 21, 617-636.
- Solomon, S., Rosenlof, K.H., Portman, R.W., Daniel, J.S., Davis, S.M., Sanford, T.J., Plattner, G.K. (2010). Contributions of stratospheric water vapor to decadal changes in the rate of global warming, *Science*, 327, 1219-1223.
- Soltani, E., Soltani, A. (2008). Climatic change of Khorasan, North-East of Iran, during 1950–2004, *Research Journal of Environmental Sciences*, 2, 316-322.
- Stellmes, M., Röder, A., Udelhoven, T., Hill, J. (2013). Mapping syndromes of land change in Spain with remote sensing time series, demographic and climatic data, *Land Use Policy*, 30, 685-702.

- Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M (eds). 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, *Cambridge University Press: Cambridge, UK and New York, NY*, 1535 pp.
- Su, B.D., Jiang, T., Jin, W.B. (2006). Recent trends in observed temperature and precipitation extremes in the Yangtze River basin, China, *Theoretical and Applied Climatology*, 83, 139-151.
- Tabari, H., Hosseinzadeh, P. (2011). Recent trends of mean maximum and minimum air temperatures in the western half of Iran, *Meteorology and Atmospheric Physics*, 111, 121-131.
- Türkes, M., Sümer, U.M., Demir, I. (2002). Re-evaluation of trends and changes in mean, maximum and minimum temperatures of Turkey for the period 1929-1999, *International Journal of Climatology*, 22, 947-977.
- Vicente-Serrano, S.V., Azorín-Molina, C., Sánchez-Lorenzo, A., Morán-Tejeda, E., Lorenzo-Lacruz, J., Revuelto, J., López-Moreno, J.I., Espejo, F. (2014a). Temporal evolution of surface humidity in Spain: recent trends and possible physical mechanisms, *Climate Dynamics*, 42, 2655-2674.
- Vicente-Serrano, S., Azorín-Molina, C., Sánchez-Lorenzo, A., Revuelto, J., López-Moreno, J.I., González-Hidalgo, J.C., Morán-Tejeda, E., Espejo, F. (2014b). Reference evapotranspiration variability and trends in Spain, 1961-2011, *Global and Planetary Change*, 121, 26-40.
- Yue, S., Hashino, M. (2007). Long term trends of annual and monthly precipitation in Japan, *Journal of the American Water Resources Association*, DOI: 10.1111/j.1752-1688.2003.tb03677.x
- Zhang, Q., Xu C.Y., Zhang, Z., Chen, Y.D. (2009). Changes of temperature extremes for 1960–2004 in Far-West China, *Stochastic Environmental Research & Risk Assessment*, 23, 721-735.
- Zúñiga, M., Pueyo, A., Calvo, J.L. (2012). The Spanish population during the 20th century and beyond, *Journal of Maps*, 8, 1-6.